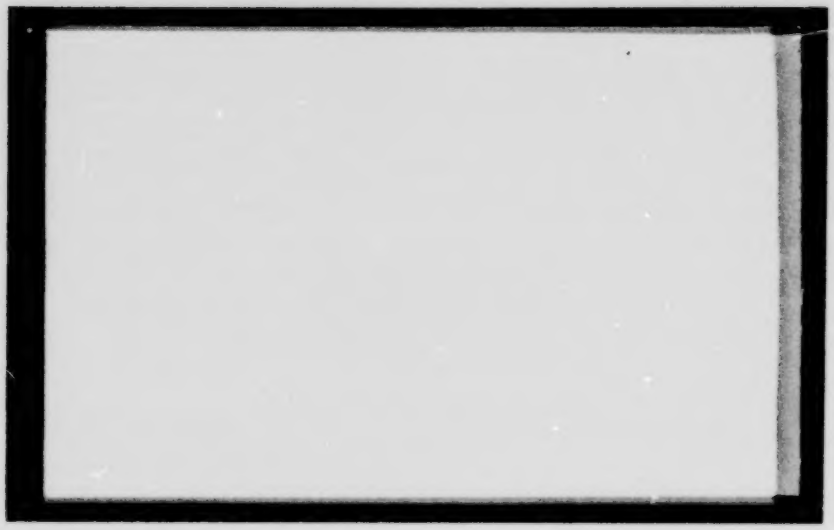
UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL



**CENTRE DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS**

MÉMOIRE D'ÉTUDIANT

CASE POSTALE 6128, STATION A, MONTRÉAL, QUÉBEC, H3C 3J7

# L'OFFRE ET LA DEMANDE DE TRANSPORT EN COMMUN À MONTRÉAL : UN SYSTÈME D'ÉQUATIONS SIMULTANÉES

par
Danielle Bilodeau

Université de Montréal
Centre de recherche sur les transports - Publication # 97
Avril 1978

## RÉSUMÉ

Ce rapport de recherche présente une formulation du processus de détermination de l'offre agrégée de transport en commun à Montréal. Il comprend aussi des estimations de paramètres des fonctions d'offre et de demande de transport en commun obtenues simultanément par des méthodes à information complète adaptées au problème de l'autocorrélation multiple.


---

## AVERTISSEMENT

Ce rapport de recherche centré sur des problèmes de méthodologie économétrique appliquée à un modèle d'offre et de demande de transport public utilise parfois des données approximatives: il faut donc en interpréter les résultats avec prudence.

Marc Gaudry

# TABLE DES MATIERES


TABLE DES HORS TEXTES ..... iv

INTRODUCTION ..... 1

CHAPITRE 1 : FORMULATION DE L'OFFRE AGREGEE DE TRANSPORT ..... 3

1.1.1 Modèle d'offre ..... 5

1.1.2 Procédures d'estimation ..... 10

1.1.3 Résultats et interprétation ..... 17

1.2.1 Modèle d'offre réduit ..... 28

1.2.2 Procédures d'estimation ..... 31

1.2.3 Résultats et interprétation ..... 39

CHAPITRE 2 : INTERACTIONS DE L'OFFRE ET DE LA DEMANDE ..... 48

2.0 Formulation de la demande et estimations ..... 48

2.1 Intérêts de la question des interactions ..... 57

2.1.1 Intérêt statistique ..... 57

2.1.2 Intérêt pour les politiques de transport ..... 58

2.1.3 Intérêt pour les évaluations de projet ..... 61

2.2 Modèle complet d'offre et de demande de transport ..... 62

2.2.1 Résultats et interprétation ..... 65

CHAPITRE 3 : ELASTICITES, PRIX DU TEMPS ET RESUME DES RESULTATS ... 81

CONCLUSION ..... 86

BIBLIOGRAPHIE ..... 91

REMERCIEMENTS ..... 93

## TABLEAUX ET ANNEXES

pages

Tableau 1 : Coefficients estimés pour l'équation de CL, la longueur des circuits, selon les procédures de moindres carrés ordinaires et de "seemingly unrelated", dans le modèle d'offre ..... 18

Tableau 2 : Statistiques-t pour l'équation de CL, la longueur des circuits, selon les procédures de moindres carrés ordinaires et de "seemingly unrelated" dans le modèle d'offre ..... 19

Tableau 3 : Coefficients estimés pour l'équation de CVEH, les unités de véhicules-heures, selon les procédures de moindres carrés ordinaires et de "seemingly unrelated" dans le modèle d'offre ..... 20

Tableau 4 : Statistiques-t pour l'équation de CVEH, les unités de véhicules-heures, selon les procédures de moindres carrés ordinaires et de "seemingly unrelated" dans le modèle d'offre ..... 21

Tableau 5 : Coefficients estimés pour l'équation de V, la vitesse, selon les procédures de moindres carrés ordinaires et de "seemingly unrelated" dans le modèle d'offre ..... 22

Tableau 6 : Statistiques-t pour l'équation de V, la vitesse, selon les procédures de moindres carrés ordinaires et de "seemingly unrelated" dans le modèle d'offre ..... 23

Tableau 7 : Coefficients estimés pour l'équation de TT, le temps de transport moyen, selon les procédures de moindres carrés ordinaires, de "seemingly unrelated" et de FIVER de Fair dans le modèle d'offre réduit ..... 41

Tableau 8 : Statistiques-t pour l'équation de TT, le temps de transport moyen, selon les procédures de moindres carrés ordinaires, de "seemingly unrelated" et de FIVER de Fair dans le modèle d'offre réduit ..... 42

Tableau 9 : Coefficients estimés pour l'équation de TW, le temps d'attente moyen selon les procédures de moindres carrés ordinaires, de "seemingly unrelated" et de FIVER de Fair dans le modèle d'offre réduit ..... 43

Tableau 10 : Statistiques-t pour l'équation de TW, le temps d'attente moyen selon les procédures de moindres carrés ordinaires, de "seemingly unrelated" et de FIVER de Fair dans le modèle d'offre réduit ..... 44

Tableau 11 : Coefficients estimés pour l'équation de XCANFA, le nombre de passagers adultes, selon les procédures de moindres carrés ordinaires et de "seemingly unrelated" dans le modèle de demande ..... 50

Tableau 12 : Statistiques-t pour l'équation de XCANFA, le nombre de passagers adultes, selon les procédures de moindres carrés ordinaires et de "seemingly unrelated" dans le modèle de demande ..... 51

Tableau 13 : Coefficients estimés pour l'équation de XCSCNFA, le nombre de passagers écoliers, selon les procédures de moindres carrés ordinaires et de "seemingly unrelated" dans le modèle de demande ..... 52

Tableau 14 : Statistiques-t pour l'équation de XCSCNFA, le nombre de passagers écoliers, selon les procédures de moindres carrés ordinaires et de "seemingly unrelated" dans le modèle de demande ..... 53

Tableau 15 : Variables instrumentales de l'étape initiale pour le modèle complet ..... 65

Tableau 16 : Coefficients estimés pour l'équation de XCANFA, le nombre de passagers adultes, selon les procédures "seemingly unrelated", FIVER de Fair et FIDA modifié de Dhrymes dans le modèle complet d'offre et de demande ..... 66

Tableau 17 : Statistiques-t pour l'équation de XCANFA, le nombre de passagers adultes, selon les procédures "seemingly unrelated", FIVER de Fair et FIDA modifié de Dhrymes dans le modèle complet d'offre et de demande ..... 67

Tableau 18 : Coefficients estimés pour l'équation de XCSCNFA, le nombre de passagers écoliers, selon les procédures "seemingly unrelated", FIVER de Fair et FIDA modifié de Dhrymes dans le modèle complet d'offre et de demande ..... 68

Tableau 19 : Statistiques-t pour l'équation de XCSCNFA, le nombre de passagers écoliers, selon les procédures "seemingly unrelated", FIVER de Fair et FIDA modifié de Dhrymes dans le modèle complet d'offre et de demande ..... 69

Tableau 20 : Coefficients estimés pour l'équation de TW, le temps d'attente moyen, selon les procédures "seemingly unrelated", FIVER de Fair et FIDA modifié de Dhrymes dans le modèle complet d'offre et de demande ..... 70

Tableau 21 : Statistiques-t pour l'équation de TW, le temps d'attente moyen, selon les procédures "seemingly unrelated", FIVER de Fair et FIDA modifié de Dhrymes dans le modèle complet d'offre et de demande ..... 71

Tableau 22 : Coefficients estimés pour l'équation de TT, le temps de transport moyen, selon les procédures "seemingly unrelated", FIVER de Fair et FIDA modifié de Dhrymes dans le modèle complet d'offre et de demande ..... 72

Tableau 23 : Statistiques-t pour l'équation de TT, le temps de transport moyen selon les procédures "seemingly unrelated", FIVER de Fair et FIDA modifié de Dhrymes dans le modèle complet d'offre et de demande ..... 73

Tableau 24 : Elasticités ..... 81

Tableau 25 : Prix du temps ..... 83

Annexe : Définition des variables ..... 87

## INTRODUCTION

Ce rapport consiste à formuler et à estimer adéquatement une fonction d'offre agrégée de transport en commun.

Nous allons d'abord étudier le comportement de l'offreur; dans notre cas, il s'agit d'un organisme public soumis à des contraintes de réglementation. Puis ayant isolé les objectifs et les comportements principaux de cette firme, la Commission de Transport de la Communauté Urbaine de Montréal (CTCUM), nous élaborerons en détail une fonction d'offre de transport.

Nous parlerons ensuite des difficultés d'estimation que pose cette fonction. Le premier obstacle à surmonter sera la corrélation sérielle et contemporaine des erreurs : on le résout en itérant sur la méthode de Parks (1967) généralisée pour les cas où chaque équation possède un schème autorégressif de ses résidus.

Le second problème est que la demande et l'offre interagissent entre elles et qu'estimer seulement la demande, ou seulement l'offre, introduit alors dans nos estimations un biais d'équations simultanées. Nous allons donc ajouter au modèle d'offre une fonction de demande, formulée et estimée auparavant par M. Marc Gaudry, et nous allons de plus élaborer un modèle réduit de la fonction d'offre de manière à pouvoir estimer de façon simultanée les fonctions d'offre et de demande.

Pour apporter une solution aux problèmes de simultanéité et de corrélation des erreurs, la technique d'estimation développée par Fair s'est avérée la meilleure, étant donné les grandes dimensions du modèle. Nous utiliserons donc une version itérée de la méthode FIVER (full information instrumental variables efficient estimator with auto-regressive residuals) pour estimer notre modèle complet d'offre et de demande.

Les résultats seront rapportés et commentés et nous comparerons quelques techniques d'estimation entre elles.

## CHAPITRE I : FORMULATION DE L'OFFRE AGRÉGÉE DE TRANSPORT

La CTCUM agit à la façon d'un monopole qui détermine le tarif par déplacement et le niveau de service de manière à maximiser ses objectifs. Le niveau de service est représenté par un vecteur de caractéristiques du service.

Pour construire le modèle d'offre, on expliquera donc le tarif et les caractéristiques du service à l'aide de variables telles que le nombre de déplacements des passagers, le coût marginal du service, etc. En effet, pour l'offreur ces dernières sont considérées comme données et influencent sûrement ses décisions. De plus, les organismes qui font la réglementation en imposant des contraintes à la CTCUM, font varier les objectifs de celle-ci et donc indirectement font varier les niveaux du tarif et du service.

Nous allons approfondir un peu les objectifs de la CTCUM. D'abord, il s'agit d'une firme qui reçoit des subventions de l'Etat. Etant donné le montant espéré de ces subventions, elle prend alors ces décisions de façon à lui permettre de couvrir ses coûts avec les subventions et ses revenus espérés. Son objectif est donc de faire un profit nul. Elle détermine alors le tarif et le niveau de service selon un arbitrage : elle essaie de mettre le tarif au plus bas niveau et le service au plus haut niveau mais il y a conflit entre deux buts : elle fait donc un compromis entre les deux.

Le niveau des subventions étant donné et la taille du territoire à desservir étant fixée par le contexte institutionnel, la CTCUM décide du nombre d'heures d'exploitation du réseau, du niveau de service et du tarif. Durant la période sur laquelle porte notre analyse, le nombre d'heures de service par jour peut être considéré comme une constante. A cause du très grand nombre de contraintes s'exerçant sur le tarif, ce dernier n'est changé que rarement et en dernier ressort : dans une analyse à court terme comme la nôtre - nous utilisons des données mensuelles - le tarif peut être considéré comme prédéterminé ou fixe. La décision principale à court terme porte donc sur le niveau de service et sur la capacité totale offerte.

Nous verrons dans la prochaine section qu'en pratique un niveau de service donné implique une capacité et qu'on peut exprimer cette dernière comme une fonction des caractéristiques du service. Donc, en maximisant le niveau de service, la CTCUM maximise par le fait même la capacité offerte et donc ses revenus si elle peut accomoder la demande impliquée par ce niveau de service.

Nous considérerons donc comme donnés le tarif et les subventions et nous étudierons simplement les variations du niveau de service, seule variable sur laquelle la CTCUM exerce un contrôle de court terme.

Nous pouvons formuler de façon plus précise la fonction d'offre maintenant que nous avons explicité le comportement de la firme.

### 1.1.1 Modèle d'offre

Comme nous l'avons dit plus haut, le niveau de service s'exprime comme un vecteur de caractéristiques de service. Ces caractéristiques pourraient être par exemple:

- longueur des routes desservies;
- fréquence du service;
- confort;
- vitesse;
- sûreté de l'horaire, etc.

Dans notre cas, nous expliquerons trois de ces caractéristiques : la longueur des circuits (CL), le nombre de véhicules-heures (CVEH), la vitesse moyenne (V). On estimera donc ces trois équations:

$$CL = F_1 (X_1) + U_1 \qquad \text{(EQ1)}$$

$$CVEH = F_2 (X_2) + U_2 \qquad \text{(EQ2)}$$

$$V = F_3 (X_3) + U_3 \qquad \text{(EQ3)}$$

où $X_1$, $X_2$, $X_3$ représentent des ensembles distincts de variables exogènes pour chacune des équations et où $U_1$, $U_2$, $U_3$ sont des vecteurs de termes d'erreur.

Pour estimer ces équations, nous utilisons des séries chronologiques de données mensuelles recueillies pour la période de décembre 1956 à décembre 1971, ce qui nous fait 181 observations pour chacune des variables du modèles.

Il est à remarquer que la vitesse V est une caractéristique de service offerte par le producteur mais non contrôlée exclusivement par le producteur. En effet, la vitesse moyenne atteinte dépend des interactions sur le réseau et de la technologie employée par la firme. Mais la vitesse dépend tout de même de certaines décisions du producteur c'est pourquoi on la considère comme une caractéristique offerte par le producteur.

La longueur des circuits CL est une caractéristique offerte par le producteur mais elle fait l'objet de décisions politiques qui sont grandement influencées par le contexte institutionnel de la firme. La seule caractéristique offerte sur laquelle la CTCUM exerce un contrôle complet à court terme est CVEH, les unités de véhicules-heures. En effet, selon ses revenus espérés et selon ses coûts, elle prend des décisions sur le nombre de véhicules, sur la route et sur le temps que ces derniers circulent. C'est pourquoi nous avons décidé d'expliquer CVEH, les unités de véhicules-heures, plutôt que la fréquence : cette dernière, qui dépend des vitesses réalisées sur des circuits de longueur donnée, n'est pas contrôlée complètement par la CTCUM.

La relation entre la longueur des circuits (CL), les unités de véhicules-heures (CVEH), la vitesse moyenne (V) et la fréquence (F) peut être exprimée par l'identité suivante dans laquelle la fréquence est exprimée en véhicules par heure :

$$\text{fréquence } F = \frac{CVEH \cdot V}{CL \cdot H} \qquad \text{(EQ4)}$$

où H = nombre d'heures roulées par un véhicule en moyenne.

Nous avons mentionné plus haut que la CTCUM prenait des décisions indirectes sur la capacité totale offerte. En effet, la capacité du système est fonction de la vitesse et des unités de véhicules-heures. On a donc l'identité suivante dans laquelle la capacité est exprimée en sièges-milles :

$$\text{capacité totale CAP} = \text{CVEH} \cdot V \cdot \text{SV} \qquad \text{(EQ5)}$$

où SV = nombre de sièges par véhicule.

Ces deux identités font partie du modèle d'offre mais ne sont pas estimées. Elles montrent simplement que les décisions sur ces variables sont prises indirectement et qu'en expliquant les décisions sur la longueur des circuits, les unités de véhicules-heures et la vitesse moyenne, on explique aussi celles sur la fréquence et la capacité totale.

Nous allons maintenant préciser un peu les ensembles des variables exogènes.

L'ensemble $X_1$ des variables exogènes qui expliquent la longueur des circuits CL comprend les variables suivantes :

- acres de terrain urbanisé dans le territoire de la CTCUM;
- des variables auxiliaires qui indiquent si les véhicules comprenaient soit des tramways, soit des trolleybus ou soit le métro (il y a eu une restructuration des lignes lors de son introduction).

Ces variables servent à expliquer la longueur des circuits. Nous avons aussi ajouté à la liste une variable de tendance. On s'attend à un signe positif pour la première variable et pour la variable

de tendance. Les autres signes sont indéterminés a priori. La longueur des circuits CL est la somme des longueurs de tous les circuits du réseau de la CTCUM avec les circuits du métro qu'on a posé nuls pour éviter du double compte.

L'ensemble $X_2$ des variables exogènes qui expliquent les unités de véhicules heures CVEH comprend les variables suivantes :

- une constante;
- des variables relatives au revenu de la CTCUM : le nombre de passagers 12 mois auparavant donne une mesure du revenu espéré pour le mois courant, le nombre de visiteurs à l'expo '67, à l'expo '68 et à l'expo '69 car on avait prévu des véhicules pour ces visiteurs, une mesure du tarif réel moyen (tenant compte du tarif étudiant et du tarif adulte), une variable auxiliaire tenant compte de l'usage de fonds de réserve avant l'intégration de la commission de transport à la CUM, et une mesure mensuelle des subsides espérés au moment du budget;
- des variables relatives au coût de la CTCUM : le taux de salaire horaire des conducteurs, des variables auxiliaires qui indiquent si les véhicules comprenaient soit des tramways, soit des trolleybus ou soit le métro. Ces variables auxiliaires tiennent compte des changements de structure des coûts variables dûs à ces différents sous-modes. On considère les coûts comme donnés et ne variant pas avec la quantité de véhicules. Au début, les coûts fixes et le déficit accumulé de la CTCUM faisaient aussi partie des coûts mais nous nous sommes rendus compte que ces deux coûts n'influençaient pas les décisions immédiates prises sur les véhicules-heures puisque ces deux coûts demeurent très stables.

- des variables auxiliaires indiquant le nombre de jours de travail, le nombre de samedis et le nombre de jours de congé par mois;
- des variables de température : on n'a pas le même nombre de passagers selon la température : on ne fournit donc pas le même nombre de véhicules-heures;
- une variable tenant compte du feu dans le métro : il a fallu réorganiser les circuits d'autobus;
- une variable tenant compte des grèves.

On s'attend à ce que les variables de revenu aient un signe positif et celles du coût un signe négatif. La grève aura aussi un signe négatif; les autres signes étant non déterminés a priori. L'ensemble $X_3$ des variables exogènes qui expliquent la vitesse V comprend les variables suivantes:

- une constante;
- des variables de congestion pouvant ralentir les véhicules : 1) un indice de la congestion automobile dans les rues; la quantité de gallons d'essence vendus à Montréal, 2) le nombre de passagers adultes et, 3) le nombre de passagers étudiants; on s'attend à ce que ces deux dernières variables agissent de façon négative sur la vitesse car l'autobus fait plus d'arrêt pour faire monter et descendre les passagers;
- des variables de température;
- des variables auxiliaires indiquant la part des heures totales effectuée par les tramways, par les trolleybus et celle effectuée par le métro; ces véhicules n'ayant pas tous la même vitesse;
- une variable tenant compte des grèves;

- des variables auxiliaires indiquant le nombre de jours de travail, le nombre de samedis et de jours de congé dans le mois.

On s'attend à un signe négatif pour les variables de congestion. Les signes des autres variables sont indéterminés a priori. Nous allons maintenant parler de l'estimation et des procédures utilisées.

### 1.1.2 Procédures d'estimation

Nous utiliserons deux procédures d'estimation : la première consistera à appliquer les moindres carrés ordinaires, en tenant compte du fait que les résidus sont autocorrélées, sur chaque équation séparément. Dans la seconde, nous tiendrons compte en plus du fait que les résidus d'une équation peuvent être corrélés à ceux d'une autre équation (corrélation contemporaine) et nous nous servirons de la procédure que l'on appelle communément "Seemingly Unrelated Regressions with Autoregressive Disturbances". En effet, il y a lieu de croire que des évènements dont nous ne tenons pas compte influencent les variables de niveau de service offertes.

On peut supposer que les erreurs d'une régression où il y a autocorrélation suivent un processus autorégressif de la forme (Box et Pierce, 1970).

$$U_t = \theta_1 U_{t-1} + \ldots + \theta_q U_{t-q} + \varepsilon_t$$

où les $\theta_i$ sont des coefficients fixes et $\{\varepsilon_t\}$ est une série de variables aléatoires indépendantes et identiquement distribuées avec moyenne zéro

et variance $\sigma^2_\varepsilon$. C'esg grâce aux autocorrélations et aux autocorrélations partielles calculées à l'aide du programme PDQL conçu sous la direction de Charles R. Nelson de l'Université de Chicago, que nous avons pu construire un modèle des erreurs pour chacune de nos équations en choisissant les $\theta_i$ les plus significatifs selon la théorie de Box et Jenkins.

Nous avons donc les trois modèles d'erreurs

a) pour l'équation de CL, la longueur des circuits:

$$U_{1t} = \rho_{1,1}\, U_{1t-1} + \varepsilon_{1t} \qquad \text{(AUTO1)}$$

b) pour l'équation de CVEH, les unités de véhicules-heures:

$$U_{2t} = \rho_{2,1}\, U_{2t-1} + \rho_{2,2}\, U_{2t-2} + \varepsilon_{2t} \qquad \text{(AUTO2)}$$

c) pour l'équation de V, la vitesse:

$$U_{3t} = \rho_{3,1}\, U_{3t-1} + \rho_{3,2}\, U_{3t-2} + \rho_{3,12}\, U_{3t-12} + \varepsilon_{3t} \qquad \text{(AUTO3)}$$

où on a

$$|\rho_{i,j}| < 1, \quad \forall\, i\ j$$

$$E(\varepsilon_{it}) = 0, \quad \forall\, i$$

$$E(\varepsilon_{it}\, \varepsilon_{it+s}) = \begin{cases} \sigma^2_{\varepsilon_i} & \text{si } s = 0, \ \forall\, i \\ 0 & \text{si } \rho \neq 0, \ \forall\, i \end{cases}$$

Nous allons maintenant exposer le mécanisme des deux procédures utilisées:

**Procédure 1**

On peut représenter chaque équation comme suit:

$$y = XB + U \qquad (1)$$

où y = vecteur (Nx1) d'observations sur la variable dépendante.

X = matrice (NxK) d'observations sur les variables indépendantes.

B = vecteur (Kx1) de coefficients à estimer.

U = vecteur (Nx1) des termes d'erreur.

Les termes d'erreur suivant le processus autorégressif suivant:

$$U_t = \rho_1 U_{t-1} + \ldots + \rho_q U_{t-q} + \varepsilon_t \qquad (2)$$

où $E(\varepsilon_t) = 0$; $E(\varepsilon\varepsilon') = \sigma^2 I$; $|\rho_i| < 1$, $\forall\, i$

Nous avons alors un problème de régression non-linéaire car en combinant (1) et (2), on a

$$(y_t - \rho_1 y_{t-1} + \ldots + \rho_q y_{t-q}) = \sum_j \beta_j (X_{jt} - \rho_1 X_{jt-1} \ldots \rho_q X_{jt-q}) + \varepsilon_t \qquad (3)$$

où il faut estimer à la fois les paramètres $\beta$ et $\rho$.

Le problème se résout en appliquant la technique itérative de Cochrane et Orcutt (1949) telle que généralisée par Schmidt (1968) pour un ordre plus élevé du modèle autorégressif des erreurs. Voici les étapes de cette technique:

1) Régression par M.C.O.: $y = XB + U$

on calcule $\hat{U}$ : $\hat{U} = y - X\hat{B}$

2) Régression par M.C.O.: $\hat{u}_t = \hat{\rho}_1 \hat{u}_{t-1} + \ldots + \rho_q \hat{u}_{t-q} + \varepsilon_t$

ce qui nous donne $\hat{\rho}_1, \ldots, \hat{\rho}_q$

3) Régression par M.C.O.:

$$(y_t - \hat{\rho}_1 y_{t-1} - \ldots - \hat{\rho}_q y_{t-q}) = \sum_j \beta_j (X_{jt} - \hat{\rho}_1 X_{jt-1} \ldots \hat{\rho}_q X_{jt-q}) + \varepsilon_t$$

ce qui nous donne les $\hat{\beta}_j$.

Nous perdons q observations à cette étape.

4) On définit $\hat{U} = y - X\hat{\beta}$ et l'on retourne à l'étape 2. Nous itérons de cette façon 15 fois en tout ce qui assurait la convergence des coefficients dans notre cas.

Les estimateurs obtenus avec cette procédure sont convergents et efficaces asymptotiquement mais la procédure 2 est une estimation à information plus complète car on tient compte en plus de l'autocorrélation contemporaine des erreurs. Voici l'exposé de cette procédure 2.

Procédure 2

Les estimateurs des coefficients sont obtenus en itérant sur la méthode de Parks (1967) généralisée pour les cas où chaque équation possède un schème autorégressif des erreurs d'un ordre plus élevé que 1. On peut représenter l'ensemble des équations de la façon suivante:

On a M équations du type:

$$y_i = X_i \beta_i + U_i , \quad i = 1, \ldots, M \qquad (4)$$

où $y_i$ = vecteur (Nx1) d'observations sur la variable dépendante de la ième équation.

$X_i$ = matrice ($NxK_i$) d'observations fixes sur les $K_i$ variables indépendantes de la ième équation.

$\beta_i$ = vecteur ($K_i$x1) de coefficients à estimer.

$U_i$ = vecteur (Nx1) de termes d'erreurs.

Ce système d'équations peut s'écrire:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & X_M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_M \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} U_1 \\ \vdots \\ U_M \end{bmatrix}$$

où encore $y = X\beta + U$ (5)

On a de plus les hypothèses suivantes sur les résidus:

1) $E(\varepsilon_{it}) = 0; \quad i = 1, \ldots, M; \quad t = 1, \ldots, N$

$$E(\varepsilon_{it}\,\varepsilon_{js}) = \begin{cases} \sigma_{ij} & \text{pour } i, \quad j = 1, \ldots, M \text{ et } t = s \\ 0 & \text{pour } i, \quad j = 1, \ldots, M \text{ et } t \neq s \end{cases}$$

2) $$U_{it} = \sum_{q=1}^{Q_i} \rho_{i\ell_q} U_{it-\ell_q} + \varepsilon_{it} \qquad (6)$$

où $Q_i$ = nombre de coefficients autorégressifs significatifs dans l'équation i.

$\ell_1, \ldots, \ell_{Q_i}$ = ordres d'autocorrélation significatifs dans la ième équation.

3) $$|\rho_{i\ell_q}| < | \quad \forall i,\ell,q$$

Voici les étapes détaillées de la procédure :

1. Régressions par M.C.O. sur chaque équation :

$$y_i = X_i\beta_i + U_i \quad (i = 1,\ldots,M)$$

On obtient les coefficients $\hat{\beta}_i$.

2. On estime $U_i$ par $\hat{U}_i = y_i - X_i\hat{\beta}_i$ $(i = 1,\ldots,M)$.

3. On estime les coefficients $\hat{\rho}_{i\ell_q}$ par les M.C.O. sur

$$U_{it} = \sum_{q=1}^{Q_i} \rho_{i\ell_q} U_{it-\ell_q} + \varepsilon_{it} \quad (i = 1,\ldots,M)$$

4. Pour chaque équation $(i = 1,\ldots,M)$, on transforme les données :

$$y^*_{it} = y_{it} - \sum_{q=1}^{Q_i} \hat{\rho}_{i\ell_q} y_{it-\ell_q} \quad , \quad t = \ell_{Q_i} + 1,\ldots,M$$

$$X^*_{ikt} = X_{ikt} - \sum_{q=1}^{Q_i} \rho_{i\ell_q} X_{ikt-\ell_q} \quad , \quad t = \ell_{Q_i} + 1,\ldots,M$$

$$k = 1,\ldots,k_i$$

A cette étape nous perdons $\ell_{Q_i}$ observations pour chaque équation.

5. Régression par M.C.O. sur l'équation :

$$y_i^* = X_i^* \beta_i + \varepsilon_i$$

On obtient alors de nouvelles estimations $\hat{\hat{\beta}}_i$ des $\beta_i$.

6. On estime $\varepsilon_i$ par $\hat{\varepsilon}_i = y_i^* - X_i^* \hat{\hat{\beta}}_i$.

7. Soit $L = \underset{i}{\text{MAX}}\ \ell_{Q_i}$, on définit alors

$$\hat{\sigma}_{ij} = \frac{\sum_{t=1}^{N-L} \hat{\varepsilon}_i(t+L-\ell_{Q_i})\ \hat{\varepsilon}_j(t+L-\ell_{Q_j})}{(N-L-K_i)^{\frac{1}{2}}(N-L-K_j)^{\frac{1}{2}}}$$

On estime ainsi les éléments principaux de la matrice de variances-covariances; i.e. les variances ou covariances entre chacune des équations par paire (i,j).

8. Soit $\hat{\sum}_c = \left\{\hat{\sigma}_{ij}\right\}$, on calcule les coefficients b :

$$b = \left[X^{*1}\left(\hat{\sum}_c^{-1} \times I\right) X^*\right]^{-1} X^{*1}\left(\hat{\sum}_c^{-1} \times I\right) y^*$$

où $\quad X^* = \begin{bmatrix} X_1^* & 0 \\ 0 & X_m^* \end{bmatrix}$ et $y^* = \begin{bmatrix} y_1^* \\ y_m^* \end{bmatrix}$

Cet estimateur de $\hat{\beta}$ est analogue à un moindre carré généralisé sauf qu'il nous a fallu estimer la matrice de variances-covariances car elle n'était pas connue.

a) On estime $\hat{u} = y - Xb$ où $\hat{u} = \begin{bmatrix} \hat{u}_1 \\ \hat{u}_m \end{bmatrix}$

et l'on retourne à l'étape 3. Nous avons fait de cette façon 15 itérations ce qui assurait dans notre cas la convergence des coefficients.

L'estimateur obtenu est convergent et asymptotiquement efficace.

Nous allons maintenant reproduire et interpréter les résultats obtenus grâce à ces deux procédures d'estimation pour nos trois équations d'offre. Les résultats sont donnés en détail dans les tableaux 1 à 6 pour les coefficients estimés et les statistiques-t de chaque équation selon chaque procédure.

### 1.1.3. Résultats et interprétation

Pour toutes les équations qui sont estimées dans ce travail, nous avons des coefficients avec des ordres de grandeur très différents car nous avons laissé les données dans leur dimension originale; ainsi, nous pouvons voir immédiatement quel sera l'effet d'une variation d'une unité de la variable explicative sur la variable dépendante.

Tableau 1

Coefficients estimés pour l'équation de CL, la longueur des circuits selon les procédures moindres carrés ordinaires et "Seemingly unrelated" dans le modèle d'offre.

| Variables | | Procédure 1 Moindres carrés ordinaires | Procédure 2 "Seemingly unrelated" |
|---|---|---|---|
| - Nombre d'âcres urbanisés | AR | .015 | .015 |
| - Variables auxiliaires : | | | |
| pour les tramways | TR1 | -7.154 | -5.371 |
| pour les trolleybus | TB1 | 6.147 | 6.595 |
| pour le métro | STRUCT2 | 31.405 | 5.214 |
| - Variable de tendance | TREND | -.748 | -.842 |
| - Autocorrélation des résidus | $\rho_{1,1}$ | .95 | .96 |
| R-CARRE | | .466 | .378 |
| STATISTIQUE DE DURBIN-WATSON | | 2.272 | 2.274 |
| ECART-TYPE DE L'ERREUR | | 5.780 | 5.783 |
| R-CARRE INTUITIF | | .999 | .998 |

Tableau 2

Statistiques-t pour l'équation de CL, la longueur des circuits selon les procédures moindres carrés ordinaires et "Seemingly unrelated" dans le modèle d'offre.

| Variables | | Procédure 2 Moindres carrés ordinaires | Procédure 1 "Seemingly unrelated" |
|---|---|---|---|
| - Nombre d'âcres urbanisés | AR | 28.13 | 24.17 |
| - Variables auxiliaires : | | | |
| pour les tramways | TR1 | -0.69 | -.48 |
| pour les trolleybus | TB1 | .96 | 1.02 |
| pour le métro | STRUCT2 | .84 | .64 |
| - Variable de tendance | TREND | -2.49 | -2.39 |
| - Autocorrélation des résidus | $\rho_{1,1}$ | 99.75 | 107.37 |
| R-CARRE | | 0.47 | .378 |
| STATISTIQUE DE DURBIN-WATSON | | 2.272 | 2.274 |
| ECART-TYPE DE L'ERREUR | | 5.780 | 5.783 |
| R-CARRE INTUITIF | | .999 | .998 |

Tableau 3

Coefficients estimés pour l'équation de CVEH, les unités de véhicules-heures, selon les procédures moindres carrés ordinaires et "Seemingly unrelated" dans le modèle d'offre.

| Variables | | Procédure 1 Moindres carrés ordinaires | Procédure 2 "Seemingly unrelated |
|---|---|---|---|
| - Variables de revenu : | | | |
| Nombre de passagers décalé | XL12C | .0070 | .0047 |
| Expo '67 | EX7 | .011 | .0078 |
| Expo '68 | EX8 | .0034 | -.0113 |
| Expo '69 | EX9 | .0032 | .0012 |
| Tarif réel moyen | FT | 219978. | 118342. |
| Réorganisation financière | FIREOR | 5362. | -4036. |
| Subsides espérés | ESUBM | .010 | .0053 |
| - Variables de coût : | | | |
| Salaire horaire | HWRO | -32471. | -32551. |
| Tramways | TR1 | -18766. | -26730. |
| Trolleybus | TB1 | -22647. | -14180. |
| Métro | STRUCT2 | 6072. | 16740. |
| - Variables de température : | | | |
| Inconfort dû à la tempér. | TLK | 5.31 | -10.41 |
| Pluie | RFK | -6456. | -9948. |
| Neige | SFK | 608. | 629. |
| Neige cumulée | CSFMR | -78.7 | -36.75 |
| - Variables d'agrégat : | | | |
| Jours de travail/mois | WD | 8559. | 9593. |
| Samedis/mois | SAT | 1931. | 3634. |
| Dimanches et jours fête/m. | SHD | 8425. | 8868. |
| - Grèves à la CTCUM | STR | -16046. | -15780. |
| - Feu en 1971 dans le métro | FIR | 735. | 401. |
| - Constante | C | 91250. | 133616. |
| - Autocorrélation des résidus | $\rho_{2,1}$ | .36 | .42 |
| | $\rho_{2,2}$ | .48 | .41 |
| R-CARRE | | .886 | .897 |
| STATISTIQUE DE DURBIN-WATSON | | 2.131 | 2.190 |
| ECART-TYPE DE L'ERREUR | | 14811. | 13919. |

Tableau 4

Statistiques-t pour l'équation de CVEH, les unités de véhicules-heures, selon les procédures moindres carrés ordinaires et "Seemingly unrelated" dans le modèle d'offre.

| Variables | | Procédure 1 Moindres carrés ordinaires | Procédure 2 "Seemingly unrelated" |
|---|---|---|---|
| - Variables de revenu : | | | |
| Nombre de passagers décalé | XL12C | 9.70 | 8.21 |
| Expo '67 | EX7 | 2.78 | 2.50 |
| Expo '68 | EX8 | 0.26 | -1.11 |
| Expo '69 | EX9 | 0.23 | .11 |
| Tarif réel moyen | FT | 1.40 | .99 |
| Réorganisation financière | FIREOR | 0.50 | -.50 |
| Subsides espérés | ESUBM | 0.38 | .27 |
| - Variables de coût : | | | |
| Salaire horaire | HWRD | -2.27 | -2.86 |
| Tranways | TR1 | -0.88 | -1.32 |
| Trolleybus | TB1 | -1.67 | -1.25 |
| Métro | STRUCT2 | 0.43 | 1.36 |
| - Variables de température : | | | |
| Inconfort dû à la temp. | TLK | 6.44 | -.76 |
| Pluie | RFK | 0.88 | -4.24 |
| Neige | SFK | 5.92 | 1.52 |
| Neige cumulée | CSFMR | 0.36 | -.70 |
| - Variables d'agrégat | | | |
| Jours de travail/mois | WD | -2.58 | 7.98 |
| Samedis/mois | SAT | 1.33 | 1.81 |
| Dim. et jours de fête/mois | SHD | -1.38 | 6.82 |
| - Grèves à la CTCUM | STR | -30.94 | -33.88 |
| - Feu en 1971 dans le métro | FIR | 1.06 | .81 |
| - Constante | C | 1.76 | 2.96 |
| - Autocorrélation des résidus | $\rho_{2,1}$ | 5.53 | 6.83 |
| | $\rho_{2,2}$ | 7.37 | 5.96 |
| R-CARRE | | 0.896 | 0.897 |
| STATISTIQUE DE DURBIN-WATSON | | 2.131 | 2.190 |
| ECART-TYPE DE L'ERREUR | | 14811. | 13919. |
| R-CARRE INTUITIF | | .882 | .900 |

Tableau 5

Coefficients estimés pour l'équation de V, la vitesse, selon les procédures moindres carrés ordinaires et "Seemingly unrelated" dans le modèle d'offre.

| Variables | | Procédure 1 Moindres carrés ordinaires | Procédure 2 "Seemingly unrelated" |
|---|---|---|---|
| - Variables de congestion : | | | |
| Quantité d'essence vendue | VNEM | $-.2 \times 10^{-8}$ | $-.66 \times 10^{-8}$ |
| Passagers adultes | XCANFA | $-.13 \times 10^{-7}$ | $.55 \times 10^{-8}$ |
| Passagers écoliers | XCSCNFA | $-.58 \times 10^{-7}$ | $.83 \times 10^{-8}$ |
| - Variables de température : | | | |
| Inconfort dû à la température | TLK | -.000093 | .00014 |
| Pluie | RFK | .045 | .075 |
| Neige | SFK | -.015 | -.014 |
| Neige cumulée | CSFMR | .00061 | -.00045 |
| - Variables de répartition des heures par mode : | | | |
| Part des heures des tramways | SHTRH | -.31 | .34 |
| Part des heures des trolleybus | SHTBH | -.91 | .58 |
| Part des heures du métro | SHMH | 11.58 | 11.60 |
| - Variables d'agrégat : | | | |
| Jours de travail/mois | WD | +.026 | .024 |
| Samedis/mois | SAT | -.0018 | .015 |
| Dim. et jours de congé/mois | SHD | .024 | .018 |
| - Grèves à la CTCUM | STR | -.015 | .0050 |
| - Constante | C | 10.27 | 9.87 |
| - Autocorrélation des résidus | $\rho_{3,1}$ | .39 | .40 |
| | $\rho_{3,2}$ | .31 | .21 |
| | $\rho_{3,12}$ | .20 | .28 |
| R-CARRE | | .66 | .698 |
| STATISTIQUE DE DURBIN-WATSON | | 2.05 | 1.939 |
| ECART-TYPE DE L'ERREUR | | .197 | .197 |
| R-CARRE INTUITIF | | .966 | .963 |

Tableau 6

Statistiques-t pour l'équation de V, la vitesse, selon les procédures moindres carrés ordinaires et "Seemingly unrelated" dans le modèle d'offre.

| Variables | | Procédure 1 Moindres carrés ordinaires | Procédure 2 "Seemingly unrelated" |
|---|---|---|---|
| - Variables de congestion : | | | |
| Quantité d'essence vendue | VNEM | -.38 | -1.41 |
| Passagers adultes | XCANFA | -.78 | .39 |
| Passagers écoliers | XCSCNFA | -1.84 | .30 |
| - Variables de température : | | | |
| Inconfort dû à la température | TLK | -.40 | .57 |
| Pluie | RFK | 1.21 | 2.09 |
| Neige | SFK | -2.25 | -2.13 |
| Neige cumulée | CSFMR | .63 | -.46 |
| - Variables de répartition des heures par mode : | | | |
| Part des heures des tramways | SHTRH | -.18 | .26 |
| Part des heures des trolleybus | SHTBH | -.40 | .31 |
| Part des heures du métro | SHMH | 14.08 | 16.76 |
| - Variables d'agrégat : | | | |
| Jours de travail/mois | WD | 1.09 | 1.00 |
| Samedis/mois | SAT | -.06 | .47 |
| Dim. et jours de congé/mois | SHD | 1.03 | .74 |
| - Grèves à la CTCUM | STR | -1.07 | .41 |
| - Constante | C | 15.94 | 15.04 |
| - Autocorrélation des résidus | $\rho_{3,1}$ | 5.53 | 5.51 |
| | $\rho_{3,2}$ | 4.32 | 2.93 |
| | $\rho_{3,12}$ | 3.53 | 4.70 |
| R-CARRE | | .66 | .698 |
| STATISTIQUE DE DURBIN-WATSON | | 2.05 | 1.939 |
| ECART-TYPE DE L'ERREUR | | .197 | .197 |
| R-CARRE INTUITIF | | .966 | .963 |

Si, pour un coefficient, sa statistique-t de student est à l'extérieur de l'intervalle [-1.960,1.960], nous considérerons ce coefficient comme significatif avec une probabilité d'erreur de 5 %. Cet intervalle de confiance est valable pour toutes les équations estimées dans ce travail car dans tous les cas les degrés de liberté pour la statistique-t sont infinis. En effet, le nombre d'observations étant de 181, quel que soit le nombre de variables explicatives, nous avons au moins 150 degrés de liberté, valeur qu'on peut considérer infinie.

Ces deux points étant clarifiés, regardons premièrement l'équation de CL, la longueur des circuits :

. Le nombre d'âcres urbanisés AR a le signe attendu et est significatif pour les deux procédures utilisées.

. Les variables auxiliaires sont non-significatives pour les deux procédures utilisées.

. La variable de tendance n'a pas le signe attendu et de plus est significative pour les deux procédures utilisées. Nous pouvons peut-être expliquer ce résultat par le fait que la variable AR du nombre d'âcres urbanisés est assez fortement correlée (environ .91 dans les deux procédures) avec la variable de tendance. Donc, on isole difficilement les effets de ces deux variables.

- Les différences numériques entre les deux procédures d'estimation sont faibles et statistiquement nulles.

Passons maintenant à l'équation de CVEH, les unités de véhicules-heures :

- les seules variables de revenu significatives sont XL12C, le nombre de passagers 12 mois auparavant, et EX7, le nombre de visiteurs à l'Expo '67. Ces deux variables ont le signe attendu, i.e. qu'elles ont une influence positive sur les unités de véhicules-heures. On obtient les mêmes résultats pour les deux procédures d'estimation.

- le taux de salaire horaire des conducteurs HWRD est la seule variable de coût significative et on obtient le signe négatif attendu. Ce résultat est le même pour les deux procédures.

- la variable tenant compte des grèves est significative et de signe négatif, comme on s'y attendait et ce pour les deux procédures.

- les autres variables de l'équation ayant un signe indéterminé a priori, nous noterons simplement celles qui sont significatives en indiquant leur signe entre parenthèses pour les deux procédures :

. procédure 1 : TLK (+), inconfort dû à la température
SFK (+), neige
WD (-), jours de travail/mois

. procédure 2 : RFK (-), pluie
WD (+), jours de travail/mois
SHD (+), dimanches et jours de fête/mois
C (+), constante

- la corrélation la plus forte entre deux variables, lorsque ces variables ont été corrigées pour tenir compte de l'autocorrélation des erreurs, est de .709 (entre FT et HWRD) pour la procédure 1 alors qu'elle est de .678 (entre TLK et SFK) pour la procédure 2.

- les variables de revenu ont toutes le signe positif avec la procédure 1, alors que deux variables, non significatives toutefois, ont un mauvais signe pour la procédure 2 : EX8, le nombre de visiteurs à l'Expo '68 et FIREOR, la réorganisation financière.

- il y a certaines différences significatives entre les deux procédures d'estimation, mais dans les deux cas, les variables significatives ont le signe espéré. On compte à peu près le même nombre de variables significatives dans chaque procédure.

Pour ce qui est de l'équation de V, la vitesse :

- les variables de congestion sont non-significatives pour les deux procédures. Toutefois, elles sont toutes négatives, tel qu'espéré, pour la procédure 1 alors que deux variables, les nombres de passagers adultes et étudiants, n'ont pas le bon signe avec la procédure 2.

- Les signes des autres variables sont non-déterminés a priori.

On obtient comme variables significatives pour les deux procédures :

. procédure 1 : SFK (-), neige
SHMH (+), part des heures du métro
C (+), constante

. procédure 2 : RFK (+), pluie
SFK (-), neige
SHMH (+), part des heures du métro
C (+), constante.

- la corrélation la plus forte entre deux variables, celles-ci ayant été corrigées pour tenir compte de l'autocorrélation des erreurs, est de -.767 (entre XCANFA et STR) pour la procédure 1 et de -.742 (entre

XCANFA et STR) pour la procédure 2.

- les deux procédures donnent des résultats statistiquement identiques, la seule différence étant que la pluie est significative dans la procédure 2 alors qu'elle ne l'est pas pour la procédure 1.

Si on considère le modèle dans son ensemble, on peut d'abord reproduire la corrélation des erreurs d'une équation à l'autre :

Eq. 1 avec Eq. 2 = -.004

Eq. 1 avec Eq. 3 = -.075

Eq. 2 avec Eq. 3 = -.635

La corrélation des erreurs entre les équations 2 et 3, égale à -.635, est assez forte pour nous inciter à choisir la procédure 2 tenant compte de la corrélation contemporaine pour estimer ce modèle, étant donné que les résultats sont acceptables pour les deux procédures. On doit toutefois noter qu'avec la procédure 1, on obtient les signes espérés alors que ce n'est pas le cas avec la procédure 2.

Dans les trois équations, les coefficients d'autocorrélation sont significatifs; donc, on a bien fait de corriger aussi pour l'autocorrélation des résidus.

Nous allons maintenant regarder ce qui se passe lorsque nous tenons compte de la simultanéité qui peut exister dans ce modèle. Pour ce, nous allons élaborer un modèle d'offre réduit possédant moins d'équations et dont les variables dépendantes sont des variables de niveau de service perçues par le consommateur. Nous pourrons ainsi, par la suite procéder à l'estimation simultanée de l'offre et de la demande.

### 1.2.1 Modèle d'offre réduit

Le producteur prend des décisions sur des variables telles que longueur des circuits, unités de véhicules-heures, vitesse et indirectement sur les fréquences et sur la capacité totale. Or, ces variables offertes ne sont pas perçues directement par le consommateur. Ce que le consommateur perçoit, ce sont des variables telles que le temps qu'il passe dans le véhicule de transport, le temps qu'il attend au coin de la rue, etc. Ce sont ces dernières variables qui influencent ses décisions. Mais le niveau de ces variables dépend de la quantité de service offerte par le producteur. Nous allons donc transformer les variables de service sur lesquelles le producteur prend des décisions en variables de service perçues par le consommateur.

Cette transformation nous permettra de réduire notre modèle d'offre à deux équations et, de plus, nous pourrons voir de façon plus directe les variables offertes influencer la quantité demandée.

Nous expliquerons deux variables de service : le temps d'attente moyen et le temps de transport moyen. Pour ce qui est des transformations employées pour passer des variables de service du modèle d'offre à ces variables, nous avons les relations suivantes. Pour que ces relations soient valables, les déplacements doivent être de longueur constante, ce qui est l'hypothèse ici. On a donc :

$$\text{temps de transport moyen } TT = \frac{1}{\text{vitesse moyenne } V}, \qquad (7)$$

$$\text{temps d'attente moyen } TW = \frac{1}{2 \times (\text{fréquence } F)}, \qquad (8)$$

$$= \frac{CL.H}{2.CVEH.V}, \text{ selon (EQ 4)} \qquad (9)$$

En effet, si la fréquence est de un autobus par dix minutes, alors le temps d'attente moyen sera de cinq minutes et si la vitesse est de vingt milles à l'heure en moyenne, alors le temps de transport moyen sera de .05 heure par mille, i.e. de trois minutes par mille.

Les relations entre les deux modèles d'offre sont donc bien définies. Ce qui est moins clair, c'est ce que deviennent les coefficients des variables exogènes lorsque l'on passe d'un modèle à l'autre. Il n'existe alors pas de relations simples. Nous allons donc exprimer le temps de transport TT et le temps d'attente TW comme des fonctions générales des variables endogènes ou exogènes du modèle d'offre et estimer les coefficients de ces variables.

Le modèle réduit sera donc construit de la façon suivante :

$$TT = F_4(X_3) + U_4 \qquad \text{(EQ 6)}$$

$$TW = F_5(CL, TT, X_2') + U_5 \qquad \text{(EQ 7)}$$

où $X_3$ est l'ensemble de variables explicatives expliquant V, la vitesse moyenne, dans (EQ 3) et où $X_2'$ est le même ensemble de variables explicatives que celles expliquant CVEH, les unités de véhicules-heures, dans (EQ 2) sauf que dans (EQ 7) on tient compte en plus des conventions collectives des chauffeurs qui changent la correspondance entre heures payées et heures de services des véhicules.

Nous allons expliquer un peu plus ces deux formulations. Dans la relation (7), le temps de transport moyen TT est fonction de la vitesse moyenne V; nous expliquons donc TT par les variables explicatives de V de manière à obtenir de nouveaux coefficients pour ces

variables. Dans la relation (8), le temps d'attente TW est fonction de la longueur des circuits CL, des unités de véhicules-heures CVEH et de la vitesse moyenne V. Or, la vitesse V est fonction du temps de transport TT qui est une variable endogène dans notre modèle réduit. Donc, cette dernière variable est déjà expliquée dans notre modèle. Pour ce, nous l'introduisons directement dans l'équation du temps d'attente TW, i.e. sans la remplacer par les variables qui l'expliquent, et nous devons alors la traiter comme une variable endogène explicative. La longueur des circuits CL est considérée comme prédéterminée dans ce contexte-ci; nous l'introduisons donc directement dans l'équation de TW. Et finalement, nous remplaçons CVEH, les unités de véhicules-heures, par les variables qui l'expliquent; nous avons tenu compte d'une variable en plus qui influençait le temps d'attente sans influencer les unités de véhicules-heures : la convention collective des chauffeurs CLAG.

Il faut noter que le consommateur perçoit aussi la capacité offerte par le producteur et que cela peut l'affecter dans ses décisions. Nous ajoutons donc cette variable au modèle mais nous n'expliquerons pas la manière dont elle est déterminée :

capacité totale CAP (EQ 8)

Nous n'estimerons pas l'équation mais cette variable a sa place dans le modèle du point de vue de la formulation.

Nous allons estimer ce modèle réduit d'offre mais cette fois-ci il nous faudra tenir compte du fait que nous avons une variable endogène explicative dans l'équation (EQ 7) et que de ce fait nous avons un biais d'équations simultanées qui ne disparaît pas asymptotiquement.

Nous allons parler un peu des signes attendus pour les variables explicatives du modèle. Dans (EQ 7), on s'attend à un signe positif pour les variables de congestion, les autres signes étant indéterminés a priori. Dans (EQ 8), on s'attend à des signes positifs pour la longueur des circuits CL et pour le temps de transport TT de par la nature de la relation (9); on s'attend à ce que les variables de revenu aient un signe négatif et à ce que les variables de coût aient un signe positif. Les autres signes sont indéterminés a priori. Nous allons maintenant parler des procédures d'estimation utilisées.

### 1.2.2 Procédures d'estimation

Nous utiliserons trois procédures d'estimation. La première procédure est celle des équations prises séparément et estimées par les moindres carrés ordinaires en tenant compte de l'autocorrélation des résidus. Les deux autres tiennent compte d'une autocorrélation des résidus sérielle et contemporaine, mais la troisième tient compte en plus du fait que nous avons une variable endogène explicative (TT) dans la seconde équation et corrige pour le biais d'équations simultanées. La deuxième procédure utilisée sera celle appelée "Seemingly Unrelated Regressions with Auroregressive Disturbances" et exposée sous le nom de "procédure 2" dans la section 1.1.2. La troisième procédure utilisée ici aura pour nom de référence "procédure 3" et consistera à appliquer l'estimateur FIVER de Fair à notre système d'équations.

Comme pour le modèle d'offre de la section 1.1, chaque équation du modèle réduit s'accompagne d'un modèle d'erreurs, ses résidus suivant un schème autorégressif. Nous avons donc les modèles d'erreurs

suivants :

a) pour l'équation de TT le temps de transport,

$$\mu_{4t} = \rho_{4,1}\mu_{4t-1} + \rho_{4,2}\mu_{4t-2} + \rho_{4,3}\mu_{4t-3} + \rho_{4,12}\mu_{4t-12} + \varepsilon_{4t} \qquad \text{(AUTO 4)}$$

b) pour l'équation de TW le temps d'attente,

$$\mu_{5t} = \rho_{5,1}\mu_{5t-1} + \rho_{5,12}\mu_{5t-12} + \varepsilon_{5t} \qquad \text{(AUTO 5)}$$

où $|\rho_{i,j}| < 1 \quad , \quad \forall i,j$

$E(\varepsilon_{it}) = 0 \ , \quad \forall i$

$$E(\varepsilon_{it}\varepsilon_{it+s}) = \begin{cases} \sigma^2_{\varepsilon_i} & \text{si } s = 0 \ , \ \forall i \\ 0 & \text{si } s \neq 0 \ , \ \forall i \end{cases}$$

Les deux premières procédures ayant été exposées à la section 1.1.2, nous n'expliquerons que la troisième procédure utilisée.

Procédure 3

On utilise en fait une version itérée de la méthode à information complète FIVER de Fair, méthode qui a comme intérêt particulier de permettre le traitement de systèmes à plus de 100 paramètres dont les équations présentent des résidus autocorrelés.

Nous pouvons exprimer notre modèle sous la forme

$$Y + XB = U \qquad (10)$$

où Y = matrice (n x p) de variables endogènes

X = matrice (n x q) de variables prédéterminées (variables exogènes et endogènes décalées)

U = matrice (n x p) de termes d'erreurs,

$\Gamma$ et B = matrice de coefficients respectivement (p x p) et (q x q),

n = nombre d'observations,

p = nombre d'équations.

Les termes d'erreurs en U suivent un processus autorégressif du $m^{ième}$ ordre :

$$U = U_{-1}R^{(1)} + \ldots + U_{-m}R^{(m)} + E \qquad (11)$$

où les matrices $R^{(k)}$ sont des matrices de coefficients (p x p), E une matrice (n x p) de termes d'erreurs et les indices dénotent les valeurs décalées des termes U. Dans notre cas, compte tenu des types de modèles d'erreurs postulés, les matrices $R^{(k)}$ seront des matrices diagonales. En combinant les équations (10) et (11), on a :

$$Y\Gamma + XB = Y_{-1}\Gamma R^{(1)} + X_{-1}BR^{(1)} + \ldots + Y_{-m}\Gamma R^{(m)} + X_{-m}BR^{(m)} + E \qquad (12)$$

Nous allons procéder de façon analogue à la méthode des doubles moindres carrés ou des triples moindres carrés : on tentera, dans une première étape, d'obtenir des variables instrumentales $\hat{Y}$ pour remplacer les variables endogènes explicatives. Pour ce, nous devrons exprimer le modèle sous forme réduite. Voici la forme réduite obtenue à partir de l'équation (12) :

$$Y = -XB\Gamma^{-1} + Y_{-1}\Gamma R^{(1)}\Gamma^{-1} + X_{-1}BR^{(1)}\Gamma^{-1} + \ldots + Y_{-m}\Gamma R^{(m)}\Gamma^{-1} + X_{-m}BR^{(m)}\Gamma^{-1} + E\Gamma^{-1} \qquad (13)$$

ou encore $$Y = Q\Pi + V \qquad (14)$$

où $V = E\Gamma^{-1}$, $Q = [XY_{-1}X_{-1} \ldots Y_{-m}X_{-m}]$ et $\Pi$ est partitionné selon Q.

De plus, il est utile d'écrire les équations structurelles en (10) sous la forme :

$$y_j = z_j \delta_j + \mu_j \quad , \quad j = 1,\ldots,p \tag{14}$$

où $z_j = [Y_j X_j]$ , $\delta_j = \begin{bmatrix} \gamma_j \\ \beta_j \end{bmatrix}$ ,

et $y_j$ = vecteur d'observations sur la $j^e$ colonne de Y pour laquelle le coefficient structurel a été normalisé à un.

$Y_j$ = matrice d'observations sur les autres variables endogènes inclues dans l'équation.

$X_j$ = matrice d'observations sur les variables prédéterminées inclues directement dans l'équation.

$\mu_j$ = $j^e$ colonne de U.

$\gamma_j$ et $\beta_j$ = vecteurs de coefficients structurels qui correspondent respectivement à $Y_j$ et à $X_j$.

Les p équations en (14) peuvent être combinées pour donner

$$y = Z\delta + \mu \tag{15}$$

où $y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_p \end{bmatrix}$, $z = \begin{bmatrix} z_1 & 0 & \ldots & 0 \\ 0 & z_2 & \ldots & 0 \\ \vdots & & & \\ 0 & 0 & \ldots & z_p \end{bmatrix}$, $\delta = \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \vdots \\ \delta_p \end{bmatrix}$, $\mu = \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ \vdots \\ \mu_p \end{bmatrix}$

Nous allons maintenant faire intervenir l'équation (11) qui porte sur la structure des résidus et arriver en combinant les équations (11) et (15), à une expression dépourvue du terme $\mu$ :

$$\left[y - (R^{(1)'} \times I)y_{-1} \cdots (R^{(m)'} \times I)y_{-m}\right] =$$

$$\left[z - (R^{(1)'} \times I)z_{-1} \cdots (R^{(m)'} \times I)z_{-m}\right]\delta + e \qquad (16)$$

où $e = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ | \\ | \\ | \\ e_p \end{bmatrix}$ et $e_j$ est la $j^e$ colonne de E.

I = matrice identité n x n et les indices de y et z dénotent les valeurs décalées de ces variables.

En regroupant les termes entre crochets, on obtient l'expression générale

$$y^* = z^*\delta + e \ , \qquad (17)$$

où y* et z* sont y et z transformés pour la véritable structure autorégressive des erreurs.

Voici la méthode d'estimation suggérée par Fair : Si un ensemble de variables instrumentales $\hat{Y}$ peut être trouvé en se basant sur une estimation convergente de $\Pi$, alors utiliser cet ensemble de variables

instrumentales nous donnera des estimés asymptotiquement convergents. Il est à remarquer que $\Pi$ est une fonction des matrices $R^{(k)}$, $\Gamma$ et B ce qui implique que si on obtient des estimés convergents de ces matrices, alors on aura aussi un estimé convergent de $\Pi$.

Voici ce que Fair suggère pour obtenir des estimations initiales convergentes de B, $\Gamma$ et des matrices $R^{(k)}$ :

a) traiter toutes les variables endogènes et endogènes décalées explicatives comme des variables endogènes et estimer chaque équation de (10) par la méthode des variables instrumentales en ignorant le problème d'autocorrélation des termes d'erreur. On obtient alors des estimations convergentes de $\Gamma$ et B si seules des variables exogènes ou exogènes décalées ont servi comme variables instrumentales;

b) utiliser ces estimations pour obtenir des estimations convergentes des résidus $U, U_{-1}, \ldots, U_{-m}$;

c) pour chaque équation, régresser $\hat{U}$ sur les résidus estimés décalés appropriés; on obtient alors des estimations convergentes pour les matrices $R^{(k)}$.

Les estimations convergentes de $\Gamma$, B et des matrices $R^{(k)}$ seront utilisées en (14) pour donner des estimations convergentes de $\Pi$ et enfin des variables instrumentales $\hat{Y}$. Elles seront aussi utilisées pour obtenir une estimation convergente de la matrice de variance-covariance $\Sigma$ des erreurs E dans (12) en procédant ainsi :

$$\hat{\sigma}_{ij} = \frac{\hat{e}_i' \hat{e}_j}{(n-m-k_i)^{\frac{1}{2}}(n-m-k_j)^{\frac{1}{2}}}$$

où $\hat{\sigma}_{ij}$ est l'élément (i,j) de $\hat{\Sigma}$ et, $\hat{e}_i$ et $\hat{e}_j$ sont des vecteurs (n-m) x 1

et sont respectivement les colonnes i et j de $\hat{E}$ calculé en (12);
m est l'ordre du schème autorégressif et représente également le nombre d'observations perdues lors de la transformation des variables suivant ce schème; $k_i$ et $k_j$ désignent le nombre de variables explicatives incluses dans les équations i et j respectivement (se référer au modèle réduit (14)).

Nous allons maintenant définir un nouvel ensemble de variables: soient

$\hat{z}$, la matrice z excepté qu'on a remplacé les variables endogènes courantes par leur valeur prédite en (14);

$\bar{y}^*$ et $\bar{z}^*$, respectivement les matrices y et z transformées à partir des estimations convergentes des matrices $R^{(k)}$;

$\hat{\bar{z}}^*$, la matrice obtenue de $\hat{z}$ après l'avoir transformée suivant la structure autorégressive pour les estimations convergentes $\hat{R}^{(k)}$ des matrices $R^{(k)}$, i.e.

$$\hat{\bar{Z}}^* = \hat{Z} - (\hat{R}^{(1)'} \times I)Z_{-1} \cdots (\hat{R}^{(m)'} \times I)Z_{-m}$$

$$\bar{W} = (\hat{\Sigma}^{-1} \times I)\hat{\bar{Z}}^*,$$

où $\hat{\Sigma}$ est une estimation convergente de $\Sigma$.

On définit alors l'estimateur FIVER (full-information instrumental variables efficient) comme :

$$d = (\bar{W}'\bar{Z}^*)^{-1}\bar{W}'\bar{y}^*$$

Fair démontre que cet estimateur est convergent et que, si les matrices $R^{(k)}$ sont connues, il est asymptotiquement efficace.

Il n'est cependant pas asymptotiquement efficace lorsque les matrices $R^{(k)}$ ne sont pas connues et doivent être estimées. Mais Fair démontre que l'estimateur FIVER, lorsque l'on itère aller-retour entre les estimations de $\delta$ et les estimations des matrices $R^{(k)}$ jusqu'à ce qu'on atteigne la convergence, a la même distribution asymptotique que l'estimateur FIML (full information maximum likehood).

Fair ne dit pas toutefois si nous devons recalculer les variables instrumentales $\hat{Y}$ à chaque itération à partir des estimés de $\delta$ et des matrices $R^{(k)}$. Nous avons choisi de refaire le calcul. Nous utilisons d, l'estimation par FIVER, pour construire de nouveau les estimations convergentes pour B et $\Gamma$ à partir desquelles nous calculons une nouvelle estimation convergente de U par l'équation (10). Nous estimons ensuite les matrices $R^{(k)}$ en régressant, pour chaque équation i, $\mu_i$ sur les erreurs décalées appropriées.

On obtient la matrice de variance-covariance asymptotique de d par $(W'\bar{Z}^*)^{-1}$, quoique cet estimé ignore la nature stochastique des estimations des matrices $R^{(k)}$.

Il faut noter que dans le cas général où les matrices $R^{(k)}$ sont estimées avec au moins une restriction, Fair nous dit de procéder plutôt de la façon suivante pour estimer les matrices $R^{(k)}$ :

$$\hat{\tilde{R}} = (\hat{\tilde{U}}' \hat{\Sigma}^{-1} \hat{\tilde{U}})^{-1} \hat{\tilde{U}}' \hat{\Sigma}^{-1} \hat{U}$$

où $\hat{\tilde{R}}$ est l'estimation convergente de $\tilde{R}$

$\tilde{R}' = (R^{(1)'} \ \ldots \ R^{(m)'})$

$\hat{\tilde{U}}$ est l'estimation convergente de $\tilde{U}$

$\tilde{U} = (U_{-1} \ \ldots \ U_{-m})$

Nous n'avons fait qu'une régression simple pour obtenir les estimations de $\tilde{R}$ dans notre procédure, i.e.

$$\hat{\tilde{R}} = (\hat{\tilde{U}}' \hat{\tilde{U}})^{-1} \hat{\tilde{U}}' \hat{U}$$

Nous n'avons donc pas fait intervenir $\hat{\Sigma}$ à cette étape : nous n'utilisons cette information que lors du calcul de l'estimateur FIVER. Cette procédure facilite la programmation et assure des estimations convergentes mais elle peut ralentir la convergence numérique. On itère ainsi de d à U à $\tilde{R}$ à $\hat{Y}$ jusqu'à une valeur de tolérance fixée à l'avance pour le rapport

$$\frac{d_i^{(k+1)} - d_i^{(k)}}{\hat{\sigma}_{d_i}^{(k+1)}}$$

Il n'est pas certain que ces itérations convergent numériquement mais si elles convergent, les estimations obtenues sont asymptotiquement efficaces.

### 1.2.3. Résultats et interprétation

Nous allons maintenant reproduire et interpréter les résultats obtenus grâce à ces deux procédures pour nos deux équations d'offre du modèle réduit. Les résultats sont rapportés en détail dans les tableaux 7 à 10 pour les coefficients estimés et les statistiques-t de student de chaque équation selon chaque procédure.

Comme variable instrumentale de départ pour remplacer TT, le temps de transport, dans l'équation (EQ7) pour la procédure 3, nous avons utilisé la variable ZA qui est corréliée à .725 avec TT. Nous pouvons, d'après les résultats obtenus, remarquer les points suivants pour

l'équation de TT, le temps de transport :

- en ce qui concerne les variables de congestion, on s'attend à un signe positif. On obtient pour la procédure 1 des variables non-significatives mais ayant le signe attendu, pour la procédure 2 des variables encore ici non-significatives mais VNEM, la quantité d'essence vendue a un mauvais signe. Avec la procédure 3, VNEM a aussi un mauvais signe mais il n'est pas non plus significatif, alors que les deux autres variables de congestion sont significatives et ont le signe attendu.
- les autres variables ont un signe indéterminé a priori. Le coefficient de SHMH, la part des heures du métro, est négatif et significatif pour les trois procédures. Celui de WD, les jours de travail par mois, est négatif et significatif dans la procédure 3. Celui de STR est positif significatif pour les procédures 2 et 3. Finalement la constante est significative et positive pour les trois procédures. Les autres coefficients sont non-significatifs.
- La plus forte corrélation entre les variables corrigées pour l'auto-corrélation est de -.747 entre XCANFA et STR pour les deux premières procédures. Nous n'avons pas cette statistique avec la procédure 3.

Passons maintenant à l'équation de TW, le temps d'attente :

- CL, la longueur des circuits, a le signe attendu et est significatif pour les trois procédures, alors que TT, le temps de transport a le signe contraire de celui espéré. Donc, la relation empirique entre TW et TT est négative, autrement dit une augmentation du temps de transport ferait diminuer le temps d'attente ce qui est contraire à la relation théorique. Il y a peut-être d'autres influences qui rendent cette

Tableau 7

Coefficients estimés pour l'équation de TT, le temps de transport moyen selon les procédures moindres carrés ordinaires, "seemingly unrelated", et FIVER de Fair dans le modèle d'offre réduit.

| Variables | | Procédure 1 Moindres carrés ordinaires | 2 "Seemingly unrelated" | 3 FIVER de Fair |
|---|---|---|---|---|
| - Variables de congestion : | | | | |
| Quantité d'essence vendue | VNEM | $.25 \times 10^{-8}$ | $-.17 \times 10^{-8}$ | $-.91 \times 10^{-8}$ |
| Passagers adultes | XCANFA | $.48 \times 10^{-7}$ | $.67 \times 10^{-7}$ | $.12 \times 10^{-6}$ |
| Passagers écoliers | XCSCNFA | $.97 \times 10^{-7}$ | $.12 \times 10^{-6}$ | $.11 \times 10^{-6}$ |
| - Variables de température | | | | |
| Inconfort dû à la tempér. | TLK | .00024 | .00039 | .00046 |
| Pluie | RFK | -.082 | -.049 | .00067 |
| Neige | SFK | .026 | .025 | .023 |
| Neige cumulée | CSFMR | -.0012 | -.0020 | -.0024 |
| - Variables de répartition des heures par mode : | | | | |
| Part des heures des tramways | SHTRH | 1.04 | 1.38 | 5.82 |
| Part des heures des trolleyb. | SHTBH | 3.83 | 5.27 | 6.07 |
| Part des heures du métro | SHMH | -22.3 | -22.7 | -24.4 |
| - Variables d'agrégat : | | | | |
| Jours de travail/mois | WD | -.093 | -.096 | -.10 |
| Samedis/mois | SAT | -.0019 | -.00074 | -.0031 |
| Dimanches & j. de congé/mois | SHD | -.059 | -.065 | -.059 |
| - Grèves à la CTCUM | STR | .045 | .061 | .098 |
| - Constante | C | 24.11 | 24.02 | 23.83 |
| - Autocorrélation des résidus | $\rho_{4,1}$ | .32 | .33 | .33 |
| | $\rho_{4,2}$ | .25 | .25 | .26 |
| | $\rho_{4,3}$ | .19 | .21 | .21 |
| | $\rho_{4,12}$ | .16 | .15 | .13 |
| R-CARRE | | .542 | .528 | |
| STATISTIQUE DE DURBIN-WATSON | | 1.995 | 2.003 | |
| ECART-TYPE DE L'ERREUR | | .466 | .466 | |
| R-CARRE INTUITIF | | .944 | .944 | |

Tableau 8

Statistiques-t pour l'équation de TT, le temps de transport moyen selon les procédures moindres carrés ordinaires, "Seemingly unrelated" et FIVER de Fair dans le nodèle d'offre réduit.

| Variables | | Procédure 1 Moindres carrés ordinaires | 2 "Seemingly unrelated | 3 FIVER de Fair |
|---|---|---|---|---|
| - Variables de congestion | | | | |
| Quantité d'essence vendue | VNEM | .19 | -.13 | -1.17 |
| Passagers adultes | XCANFA | 1.30 | 1.82 | 3.85 |
| Passagers écoliers | XCSCNFA | 1.39 | 1.70 | 2.25 |
| - Variables de température | | | | |
| Inconfort dû à la tempér. | TLK | .46 | .76 | .94 |
| Pluie | RFK | -.92 | -.55 | .01 |
| Neige | SFK | 1.64 | 1.61 | 1.56 |
| Neige cumulée | CSFMR | -.55 | -.91 | -1.17 |
| - Variables de répartition des heures par mode : | | | | |
| Part des heures des tramways | SHTRH | .26 | .36 | 1.26 |
| Part des heures des trolleyb. | SHTBH | .72 | .99 | 1.58 |
| Part des heures du métro | SHMH | -11.18 | -11.17 | -13.00 |
| - Variables d'agrégat : | | | | |
| Jours de travail/mois | WD | -1.65 | -1.73 | -2.11 |
| Samedis/mois | SAT | -.02 | -.009 | -.04 |
| Dimanches & jours de congé/m. | SHD | -1.04 | -1.16 | -1.16 |
| - Grèves à la CTCUM | STR | 1.45 | 1.98 | 3.57 |
| - Constante | C | 15.58 | 15.42 | 15.75 |
| - Autocorrélation des résidus | $\rho_{4,1}$ | 4.35 | 4.40 | 4.50 |
| | $\rho_{4.2}$ | 3.31 | 3.30 | 3.35 |
| | $\rho_{4,3}$ | 2.53 | 2.76 | 2.71 |
| | $\rho_{4,12}$ | 2.86 | 2.75 | 2.66 |
| R-CARRE | | .542 | .528 | |
| STATISTIQUE DE DURBIN-WATSON | | 1.995 | 2.003 | |
| ECART-TYPE DE L'ERREUR | | .466 | .466 | |
| R-CARRE INTUITIF | | .944 | .944 | |

Tableau 9

Coefficients estimés pour l'équation de TW, le temps d'attente moyen selon les procédures moindres carrés ordinaires, "Seemingly unrelated" et FIVER de Fair dans le modèle d'offre réduit.

| Variables | | Procédure 1 Moindres carrés ordin. | 2 "Seemingly unrelated" | 3 FIVER de Fair |
|---|---|---|---|---|
| - La longueur des circuits | CL | .0030 | .0028 | .0012 |
| - Le temps de transport | TT | -.063 | -.089 | -.19 |
| - Les variables de revenu : | | | | |
| nombre de passagers décalé | XL12C | $-.40 \times 10^{-7}$ | $-.39 \times 10^{-7}$ | $-.34 \times 10^{-7}$ |
| Expo '67 | EX7 | $-.11 \times 10^{-6}$ | $-.10 \times 10^{-6}$ | $-.73 \times 10^{-7}$ |
| Expo '68 | EX8 | $.27 \times 10^{-7}$ | $-.74 \times 10^{-8}$ | $-.17 \times 10^{-6}$ |
| Expo '69 | EX9 | $.42 \times 10^{-7}$ | $.20 \times 10^{-7}$ | $-.83 \times 10^{-7}$ |
| Tarif réel moyen | FT | -.44 | -.33 | -.26 |
| Réorganisation financière | FIREOR | .15 | .15 | .13 |
| Subsides espérés | ESUBM | $-.14 \times 10^{-6}$ | $-.10 \times 10^{-6}$ | $.13 \times 10^{-7}$ |
| - Variables de coût : | | | | |
| Salaire horaire | HWRD | .40 | .40 | .27 |
| Tramways | TR1 | .013 | .11 | .098 |
| Trolleybus | TB1 | .13 | .13 | .15 |
| Métro | STRUCT2 | -.46 | -.54 | -.93 |
| Convention collective | CLAG | .0084 | .016 | .065 |
| - Variables de température : | | | | |
| Inconfort dû à la tempér. | TLK | -.000041 | -.000051 | -.000057 |
| Pluie | RFK | .032 | .035 | .026 |
| Neige | SFK | .00097 | .0017 | .0040 |
| Neige cumulée | CSFMR | .00044 | .00050 | .00056 |
| - Variables d'agrégat : | | | | |
| Jours de travail/mois | WD | .032 | .028 | .017 |
| Samedis/mois | SAT | .090 | .086 | .075 |
| Dimanches & jours de fête/m. | SHD | .046 | .045 | .039 |
| - Grèves à la CTCUM | STR | .0073 | .0074 | .0078 |
| - Feu en 1971 dans le métro | FIR | -.0061 | -.0063 | -.0067 |
| - Constante | C | 1.42 | 2.34 | 7.15 |
| - Autocorrélation des résidus | $\rho_{5,1}$ | .44 | .43 | .49 |
| | $\rho_{5,3}$ | .44 | .47 | .47 |
| R-CARRE | | .778 | .759 | |
| STATISTIQUE DE DURBIN-WATSON | | 1.967 | 1.954 | |
| ECART-TYPE DE L'ERREUR | | .0753 | .0753 | |

Tableau 10

Statistiques-t pour l'équation de TW, le temps d'attente moyen selon les procédures moindres carrés ordinaires, "Seemingly unrelated" et FIVER de Fair dans le modèle d'offre réduit.

| Variables | | Procédure 1 Moindres carrés ordin. | 2 "Seemingly unrelated" | 3 FIVER de Fair |
|---|---|---|---|---|
| - Longueur des circuits | CL | 5.06 | 4.16 | 1.97 |
| - Temps de transport | TT | -4.48 | -6.30 | -7.90 |
| - Les variables de revenu : | | | | |
| Nombre de passagers décalé | XL12C | -11.56 | -11.31 | -10.04 |
| Expo '67 | EX7 | -6.09 | -5.92 | -3.81 |
| Expo '68 | EX8 | .45 | -.13 | -3.48 |
| Expo '69 | EX9 | .61 | .31 | -1.45 |
| Tarif réel moyen | FT | -.56 | -.42 | -.37 |
| Réorganisation financière | FIREOR | 2.49 | 2.48 | 2.58 |
| Subsides espérés | ESUBM | -1.06 | -.76 | .11 |
| - Variables de coût : | | | | |
| Salaire horaire | HWRD | 5.06 | 5.08 | 3.36 |
| Tramways | TR1 | .11 | .89 | .35 |
| Trolleybus | TB1 | 1.84 | 1.92 | 2.02 |
| Métro | STRUCT2 | -4.88 | -5.72 | -7.16 |
| Convention collective | CLAG | .11 | .21 | .97 |
| - Variables de température | | | | |
| Inconfort dû à la tempér. | TLK | -.56 | -.67 | -.54 |
| Pluie | RFK | 2.57 | 2.67 | 1.49 |
| Neige | SFK | .41 | .72 | 1.20 |
| Neige cumulée | CSFMR | 1.48 | 1.67 | 1.30 |
| - Variables d'agrégat : | | | | |
| Jours de travail/mois | WD | 5.08 | 4.28 | 1.90 |
| Samedis/mois | SAT | 8.17 | 7.53 | 4.86 |
| Dimanches & jours de fête/m. | SHD | 5.75 | 5.52 | 3.65 |
| - Grèves à la CTCUM | STR | 2.64 | 2.69 | 2.13 |
| - Feu en 1971 dans le métro | FIR | -1.74 | -1.81 | -2.34 |
| - Constante | C | 2.54 | 3.84 | 7.96 |
| - Autocorrélation des résidus | $\rho_{5,1}$ | 7.60 | 7.76 | 8.73 |
| | $\rho_{5,3}$ | 7.88 | 9.02 | 8.65 |
| R-CARRE | | .778 | .759 | |
| STATISTIQUE DE DURBIN-WATSON | | 1.967 | 1.954 | |
| ECART-TYPE DE L'ERREUR | | .0753 | .0753 | |
| R-CARRE INTUITIF | | .987 | .983 | |

relation négative mais je suis incapable de trouver une explication claire et plausible.

- Les variables de revenu XL12C, le nombre de passagers décalé, et EX7, l'Expo '67 sont significatives et ont le signe espéré pour les 3 procédures. De plus, EX8, l'Expo '68, est significative et a un bon signe dans la procédure 3. FIREOR a un mauvais signe et est significatif dans les trois procédures.
- La variable de coût HWRD, le salaire horaire, est positive et significative comme on s'y attendait dans les 3 procédures. La variable auxiliaire du métro est négative et significative pour les 3 procédures. La variable auxiliaire du trolleybus est positive et significative avec la procédure 3.
- Les autres variables ont un signe indéterminé a priori. Les variables RFK, pluie, WD, jours de travail/mois, SAT, samedis/mois, SHD, dimanches et jours de fête/mois, STR, les grèves, et C, la constante sont significatives et de signe positif pour les procédures 1 et 2 alors que dans la procédure 3 ces variables sont aussi significatives et positives excepté que les variables RFK et WD ne sont pas significatives. La variable FIR, le feu en 1971 dans le métro, est significative et négative pour la procédure 3 seulement.
- La plus forte corrélation entre deux variables corrigées pour l'autocorrélation des résidus est de l'ordre de .75 (entre SFK et TLK) pour les procédures 1 et 2.

Pour ce qui est de l'ensemble du modèle d'offre réduit, on

peut remarquer les points suivants :

- La corrélation contemporaine des erreurs des deux équations est de .231 dans la procédure 2. C'est relativement faible et de fait, on remarque qu'il n'y a pour ainsi dire aucune différence statistique entre les procédures d'estimation 1 et 2 et ce, pour les deux équations; en effet, la seule différence est que la variable STR, les grèves, est significative avec la procédure 2 alors qu'elle ne l'est pas avec la procédure 1. Donc, dans ce cas-ci, le fait de tenir compte de la corrélation contemporaine ne nous apporte aucun gain appréciable .
- Les coefficients d'autocorrélation sont tous significatifs. Donc, on se devait encore ici de tenir compte de l'autocorrélation des résidus et ce, pour les trois procédures.
- Le cas de savoir si oui ou non la prise en considération de la simultanéité était nécessaire est une question un peu plus complexe. D'abord, on note que la corrélation contemporaine des erreurs augmente alors de beaucoup : elle passe à .849 alors que sans tenir compte de la simultanéité, elle était de .231. De façon générale, les variables qui sont susceptibles d'influencer plus fortement les variables dépendantes deviennent plus significatives si on compare aux deux autres procédures. Le seul désavantage avec cette procédure 3 par rapport à la procédure 1 est que la variable de congestion VNEM est de signe négatif mais elle n'est toutefois pas significative. Donc, on peut conclure que la procédure 3 est la plus adéquate pour estimer ce modèle-ci mais toutefois le gain sur les

autres procédures n'est pas très grand.

Nous allons maintenant passer à la question des interactions entre ce modèle d'offre réduit et le modèle de demande et ensuite procéder à des estimations. Nous pourrons ainsi étudier ce qui arrive à notre modèle d'offre lorsqu'on introduit la demande dans le système d'équations.

## CHAPITRE 2 : INTERACTION DE L'OFFRE ET DE LA DEMANDE

Nous allons d'abord préciser la fonction de demande utilisée.

### 2.0 Formulation de la demande et estimations

On relie le nombre de passagers agrégés au prix du bien, au prix des biens substituts et complémentaires, et au revenu en accord avec la théorie économique classique. Toutefois, nous élargissons la notion de prix du bien : elle comprend le tarif et les deux variables de niveau de service le temps d'attente et le temps de transport. Nous représentons le prix des biens substituts par des variables de coûts et de niveau de service et par l'indice des prix à la consommation. Le salaire réel est utilisé comme mesure de revenu.

De plus, nous ajoutons certaines variables pouvant influencer la quantité demandée : des variables de température, des variables représentant le niveau des activités économiques et des variables auxiliaires permettant de tenir compte d'événements particuliers. Les passagers ont été divisés en deux catégories ce qui a permis d'améliorer l'explication de la demande de transport en commun. Les deux types de passagers considérés sonr les adultes XCANFA et les écoliers XCSCNFA. En effet, ces deux groupes se comportent différemment. Pour obtenir plus de détails sur la formulation, on peut consulter Gaudry (1975). On s'attend à des coefficients négatifs pour le prix du bien, positifs pour le prix des autres biens et les activités. Les autres signes sont indéterminés a priori.

Nous avons donc, de façon schématique, les deux équations de demande suivantes :

$$XCANFA = F_6(X_4) + U_6 \qquad (EQ9)$$

$$XCSCNFA = F_7(X_5) + U_7 \qquad (EQ10)$$

où $X_4$ et $X_5$ représentent des ensembles distincts de variables exogènes pour chacune des équations.

Nous avons estimé ces deux équations en se servant des procédures 1 et 2 expliquées dans la section 1.1.2. En effet, les résidus sont autocorrélés et il y a lieu de croire que des facteurs dont on n'a pas tenu compte influencent les deux types de passagers donc qu'il y a de la corrélation contemporaine des résidus.

Nous avons donc deux modèles d'erreurs :

a) pour l'équation de XCANFA, le nombre de passagers adultes :

$$u_{6t} = \rho_{6,1}u_{6t-1} + \rho_{6,12}u_{6t-12} + \varepsilon_{6t} \qquad (AUT06)$$

b) pour l'équation de XCSCNFA, le nombre de passagers écoliers :

$$u_{7t} = \rho_{7,1}u_{7t-1} + \rho_{7,3}u_{7t-3} + \rho_{7,4}u_{7t-4} + \rho_{7,12}u_{7t-12} + \varepsilon_{7t} \qquad (AUT07)$$

où on a $|\rho_{i,j}| < 1$, $\forall i,j$ et $\forall i$, $E(\varepsilon_{it}) = 0$, $E(\varepsilon_{it}\varepsilon_{it+s}) = \begin{cases} \sigma_i^2 & \text{si } s \neq 0 \\ 0 & \text{si } s = 0 \end{cases}$

Nous allons maintenant reproduire et interpréter les résultats obtenus grâce aux deux procédures d'estimation pour nos deux équations de demande. Les résultats sont donnés en détail dans les tableaux 11 à 14

Tableau 11

Coefficients estimés pour l'équation de XCANFA, le nombre de passagers adultes, selon les procédures moindres carrés ordinaires et "Seemingly unrelated" dans le modèle de demande.

| Variables | | Procédure 1 Moindres carrés ordinaires | Procédure 2 "Seemingly unrelated |
|---|---|---|---|
| - Variables de prix : | | | |
| Tarif réel de la CTCUM adulte | FAD | -22395000 | -22690000 |
| Nombre d'autos | NC | -22.68 | -22.63 |
| Index des prix à la consom. | P | 13971. | 14857. |
| Temps d'attente de la CTCUM | TW | -837291. | -842044. |
| Temps de transport de la CTCUM | TT | -467128. | -467521. |
| Temps du voyage en auto | T2T | 145898. | 153999. |
| - Salaires moyens réels | RAWEM | 134358. | 132949. |
| - Variables de température: | | | |
| Inconfort dû à la tempér. | TLK | 345. | 350. |
| Pluie | RFK | -220197. | -219033. |
| Neige | SFK | 1606. | 1201. |
| Neige cumulée | CSFMR | 3339. | 3430. |
| - Variables d'activité : | | | |
| Index de présence au trav. | EANFP | .036 | .036 |
| Index de prés.au coll.&univ. | RCUTP | .00042 | .49 |
| Index de voy.aux magasins | SHONF | 5.58 | 5.53 |
| Expo '67 | EX7 | 2.65 | 2.65 |
| Expo '68 | EX8 | 2.46 | 2.46 |
| Expo '69 | EX9 | 1.76 | 1.75 |
| Expo '70 | EX0 | .62 | .59 |
| Expo '71 | EX1 | .32 | .28 |
| Grèves à la CTCUM | STR | -726763. | -726790. |
| Feu en 1971 dans le métro | FIR | -48678. | -48873. |
| - Comptabilité ou agrégat: | | | |
| Ventes anticipées | ANT | -997552. | -699444. |
| Ventes antic.retardées de un | ANTLI | 57240. | 67815. |
| Surestimation de la zone ext. | ZA | 6247600. | 6192400. |
| Jours de travail/mois | WD | 655662. | 657446. |
| Samedis/mois | SAT | 455143. | 456730. |
| Dimanches & jours de fête/m. | SHD | 352976. | 355378. |
| - Constante | C | 7262800. | 7194000. |
| - Autocorrélation des résidus | $\rho_{6,1}$ | .13 | .13 |
| | $\rho_{6.12}$ | .74 | .73 |
| R-CARRE | | .975 | .975 |
| STATISTIQUE DE DURBIN-WATSON | | 1.653 | 1.653 |
| ECART-TYPE DE L'ERREUR | | 428727. | 428762. |
| R-CARRE INTUITIF | | .970 | .970 |

## Tableau 12

Statistiques-t pour l'équation de XCANFA, le nombre de passagers adultes, selon les procédures moindres carrés ordinaires et "Seemingly unrelated" dans le modèle de demande.

| Variables | | Procédure 1 Moindres carrés ordinaires | Procédure 2 "Seemingly unrelated" |
|---|---|---|---|
| - Variables de prix : | | | |
| Tarif réel adulte de la CTCUM | FAD | -6.42 | -6.49 |
| Nombre d'autos | NC | -3.10 | -3.10 |
| Index des prix à la consom. | P | .38 | .40 |
| Temps d'attente de la CTCUM | TW | -2.15 | -2.15 |
| Temps de transport de la CTCUM | TT | -12.70 | -12.68 |
| Temps du voyage en auto | T2T | .42 | .44 |
| - Salaires moyens réels | RAWEM | 3.67 | 3.63 |
| - Variables de température : | | | |
| Inconfort dû à la tempér. | TLK | .43 | .44 |
| Pluie | RFK | -2.98 | -2.96 |
| Neige | SFK | .11 | .081 |
| Neige cumulée | CSFMR | 1.26 | 1.29 |
| - Variables d'activité : | | | |
| Index de présence au travail | EANFP | 5.40 | 5.41 |
| Index de prés.au coll.& univ. | RCUTP | .00006 | .068 |
| Index de voy.aux magasins | SHONF | 3.17 | 3.16 |
| Expo '67 | EX7 | 28.16 | 28.07 |
| Expo '68 | EX8 | 6.44 | 6.41 |
| Expo '69 | EX9 | 2.97 | 2.95 |
| Expo '70 | EX0 | .80 | .75 |
| Expo '71 | EX1 | .34 | .31 |
| Grèves à la CTCUM | STR | -51.15 | -51.07 |
| Feu en 1971 dans le métro | FIR | -2.14 | -2.14 |
| - Comptabilité ou agrégat : | | | |
| Ventes anticipées | ANT | -2.73 | -2.73 |
| Ventes antic.retardées de un | ANTLI | .15 | .18 |
| Surestimation de la zone ext. | ZA | 2.93 | 2.90 |
| Jours de travail/mois | WD | 6.08 | 6.13 |
| Samedis/mois | SAT | 3.72 | 3.75 |
| Dimanches et jours de fête/m. | SHD | 3.09 | 3.13 |
| - Constante | C | 1.25 | 1.24 |
| - Autocorrélation des résidus | $\rho_{6,1}$ | 2.77 | 2.78 |
| | $\rho_{6,12}$ | 17.05 | 16.94 |
| R-CARRE | | .975 | .975 |
| STATISTIQUE DE DURBIN-WATSON | | 1.653 | 1.653 |
| ECART-TYPE DE L'ERREUR | | 428727. | 428762. |
| R-CARRE INTUITIF | | .970 | .970 |

Tableau 13

Coefficients estimés pour l'équation de XCSCNFA, le nombre de passagers écoliers, selon les procédures moindres carrés ordinaires et "Seemingly unrelated" dans le modèle de demande.

| Variables | | Procédure 1 Moindres carrés ordinaires | Procédure 2 "Seemingly unrelated |
|---|---|---|---|
| - Variables de prix : | | | |
| Tarif écolier réel de LA CTCUM | FSCD | -22598000. | -23137000. |
| Nombre d'autos | NC | -11.48 | -11.57 |
| Indice des prix à la consom. | P | 11833. | 14411. |
| Temps d'attente de la CTCUM | TW | -166420. | -140532. |
| Temps de transport de la CTCUM | TT | -22620. | -16364. |
| Temps du voy. en auto | T2T | 136326. | 104924. |
| - Salaires moyens réels | RAWEM | 25341. | 25190. |
| - Variables de température : | | | |
| Inconfort dû à la tempér. | TLK | 1067. | 1066. |
| Pluie | RFK | -51312. | -50460. |
| Neige | SFK | -17070. | -17271. |
| Neige cumulée | CSFMR | 1320. | 1370. |
| - Variables d'activité : | | | |
| Index de prés.au prim.& second. | RSCMP | 3.31 | 3.34 |
| Index de voy.aux magasins | SHONF | 1.59 | 1.61 |
| Expo '67 | EX7 | .19 | .19 |
| Expo '68 | EX8 | .24 | .24 |
| Grèves à la CTCUM | STR | -118463. | -118518. |
| - Comptabilité ou agrégat : | | | |
| Ventes anticipées | ANT | 1254900. | 1255900. |
| Ventes ant.retardées de un | ANTLI | -430830. | -405833. |
| Surestimation de la zone ext. | ZSC | 2486680. | 2535070. |
| Jours de travail/mois | WD | 100126. | 101050. |
| Samedis/mois | SAT | 37425. | 36543. |
| Dimanches & jours de fête/m. | SHD | 32645. | 33084. |
| Tromperies des étudiants | CHEAT2 | -64536. | -61060. |
| Expiration des cartes en été | CARDEX | -107922. | -100336. |
| Tendance | TEND | 19538. | 18851. |
| Structure des lignes | STRUCTI | -257830. | -209178. |
| - Constante | C | -1651500. | -1858300. |
| - Autocorrélation des résidus | $\rho_{7,1}$ | .17 | .17 |
| | $\rho_{7,3}$ | -.32 | -.32 |
| | $\rho_{7,4}$ | -.07 | -.08 |
| | $\rho_{7,12}$ | .41 | .41 |
| R-CARRE | | .849 | .850 |
| STATISTIQUE DE DURBIN-WATSON | | 1.910 | 1.906 |
| ECART-TYPE DE L'ERREUR | | 224969. | 224971. |
| R-CARRE INTUITIF | | .934 | .934 |

## Tableau 14

Statistiques-t pour l'équation de XCSCNFA, le nombre de passagers écoliers, selon les procédures moindres carrés ordinaires et "Seemingly unrelated" dans le modèle de demande.

| Variables | | Procédure 1 Moindres carrés ordinaires | Procédure 2 "Seemingly unrelated" |
|---|---|---|---|
| - Variables de prix : | | | |
| Tarif écolier réel de la CTCUM | FSCD | -3.75 | -3.85 |
| Nombre d'autos | NC | -2.31 | -2.34 |
| Indice des prix à la consommation | P | .36 | .44 |
| Temps d'attente de la CTCUM | TW | -.80 | -.68 |
| Temps de transport de la CTCUM | TT | -.52 | -.38 |
| Temps du voyage en auto | T2T | .49 | .38 |
| - Salaires moyens réels | RAWEM | 1.39 | 1.39 |
| - Variables de température : | | | |
| Inconfort dû à la tempér. | TLK | 3.15 | 3.16 |
| Pluie | RFK | -1.20 | -1.17 |
| Neige | SFK | -2.10 | -2.13 |
| Neige cumulée | CSFMR | 1.02 | 1.06 |
| - Variables d'activité : | | | |
| Ind. de prés.au primaire et second. | RSCMP | 8.06 | 8.16 |
| Index de voyages aux magasins | SHONF | 2.86 | 2.90 |
| Expo '67 | EX7 | 4.75 | 4.73 |
| Expo '68 | EX8 | 1.55 | 1.53 |
| Grèves à la CTCUM | STR | -13.16 | -13.16 |
| - Comptabilité ou agrégat : | | | |
| Ventes anticipées | ANT | 5.78 | 5.78 |
| Ventes ant. retardées de un | ANTL1 | -1.78 | -1.68 |
| Surestimation de la zone ext. | ZSC | 3.71 | 3.80 |
| Jours de trav./mois | WD | 2.92 | 2.94 |
| Samedis/mois | SAT | .81 | .79 |
| Dimanches & jours de fête/mois | SHD | .88 | .89 |
| Tromperies des étudiants | CHEAT2 | -.43 | -.41 |
| Expiration des cartes en été | CARDEX | -.69 | -.64 |
| Tendance | TEND | 2.72 | 2.64 |
| Structure des lignes | STRUCT1 | -.98 | -.80 |
| - Constante | C | -.65 | -.73 |
| - Autocorrélation des résidus | $\rho_{7,1}$ | 2.51 | 2.45 |
| | $\rho_{7,3}$ | -4.87 | -4.86 |
| | $\rho_{7,4}$ | -.97 | -1.07 |
| | $\rho_{7,12}$ | 6.37 | 6.25 |
| R-CARRE | | .849 | .850 |
| STATISTIQUE DE DURBIN-WATSON | | 1.910 | 1.906 |
| ECART-TYPE DE L'ERREUR | | 224969. | 224971. |
| R-CARRE INTUITIF | | .934 | .934 |

pour les coefficients estimés et les statistiques-t de student de chaque équation selon chaque procédure.

Nous pouvons remarquer les points suivants en ce qui concerne l'équation de XCANFA, les passagers adultes :

- Le prix du bien, FAD, est négatif et significatif comme on s'y attendait pour les deux procédures. De même les prix du bien en temps, TT le temps de transport et TW le temps d'attente, sont négatifs et significatifs pour les 2 procédures.

- Pour ce qui est du prix des autres biens, T2T, le temps de transport en auto, et P, le prix de tous les autres biens, ils sont positifs comme prévu mais non significatifs pour les 2 procédures. Le nombre d'autos NC peut être considéré comme un prix dans le sens que si les gens possèdent plus d'autos, le coût marginal de faire un voyage en auto devient plus faible et par conséquent on devrait enregistrer une baisse des passagers du transport en commun. On observe en effet un signe négatif et significatif pour les deux procédures.

- La variable de revenu est positive et significative pour les deux procédures. Ce résultat implique que le transport en commun, dans notre cas, n'est pas un bien inférieur et que la consommation de ce bien augmente lorsque le revenu augmente.

- Les variables d'activité EANFP, présence au travail, SHONF, voyages aux magasins, EX7, Expo '67, EX8, Expo '68 et EX9, Expo '69 sont significatives et positives comme on s'y attendait. Les variables FIR, le feu, et STR, les grèves sont négatives et significatives comme prévu.
Ces résultats sont valables pour les deux procédures.

- Les autres variables ont un signe indéterminé a priori. Voici celles qui sont significatives (ce sont les mêmes pour les deux procédures) :

RFK (-), la pluie, ANT (-), les ventes anticipées, ZA (+), la surestimation de la zone extérieure, WD (+), les jours de travail par mois, SAT (+), les samedis par mois, SHD (+), les dimanches et jours de fête par mois.

- La plus forte corrélation entre deux variables corrigées pour l'autocorrélation est de l'ordre de .91 entre T2T et NC pour les deux procédures.

Voici maintenant les principaux points à remarquer pour l'équation des passagers écoliers XCSCNFA :

- le prix du bien, FSCD, est négatif tel qu'espéré et significatif pour les deux procédures. Les variables TT, le temps de transport et TW, le temps d'attente sont aussi négatives mais sont non significatives pour les deux procédures.

- Les variables T2T, temps de transport en auto, et P, prix de tous les biens sont positives comme on s'y attendait mais non significatifs pour les deux procédures. Le signe de NC est négatif tel qu'espéré et significatif pour les deux procédures.

- La variable de revenu est positive mais elle est non significative pour les deux procédures. Donc, ici encore le bien n'est pas inférieur.

- Les variables d'activité RSCMP, présence scolaire, SHONF, voyages aux magasins et EX7, Expo '67 sont positives comme on s'y attendait et de plus significatives. La variable STR, les grèves, est négative et significative. Ces résultats sont valables pour les deux procédures.

- Les autres variables ont un signe indéterminé a priori. Voici celles qui sont significatives (ce sont les mêmes pour les deux procédures) :

TLK (+), inconfort dû à la température, SFK (-), la neige, ANT (+), les ventes anticipées, ZSC (+), surestimation de la zone extérieure, WD (+), jours de travail par mois et TEND (+), la tendance.

- La plus forte corrélation entre deux variables corrigées pour l'autocorrélation est de .988 (entre P et NC) pour les deux procédures.

En ce qui concerne le modèle de demande dans son ensemble, on remarque que :

- Dans les deux équations, tous les coefficients ont le signe espéré pour les deux procédures. Les variables significatives sont celles qui, vraisemblablement, devraient avoir le plus d'effet sur la variable dépendante.

Toutefois, les variables sont moins significatives dans l'équation des passagers écoliers que dans celle des passagers adultes. L'équation des écoliers est un peu moins satisfaisante que celle des adultes mais ces deux équations sont néanmoins très bonnes.

- Le coefficient de corrélation contemporaine des erreurs est de -.032. C'est très faible et on voit que les deux procédures d'estimation donnent strictement les mêmes résultats statistiquement. Donc, utiliser la procédure 2 dans ce cas-ci n'apporte aucun gain d'efficacité.

- Les coefficients d'autocorrélation sont tous significatifs, à l'exception de $\rho_{7,4}$ dans l'équation des écoliers. Ce dernier coefficient a toutefois sa place dans le modèle autorégressif car si on n'en tient pas compte, l'autocorrélation n'est pas complètement disparue. Donc,

encore ici, il s'est avéré important de corriger pour l'autocorrélation sérielle.

Nous allons maintenant expliquer d'une manière un peu plus approfondie ce que peuvent être les interactions entre l'offre et la demande et quel est l'intérêt de ces questions d'interactions.

## 2.1 Intérêts de la question des interactions

### 2.1.1 Intérêt statistique

Il s'agit de bien distinguer dans l'estimation les composantes dues au producteur et celles dues aux consommateurs. En effet, les variables de niveau de service TW le temps d'attente et TT le temps de transport sont déterminées simultanément par le comportement des consommateurs et par celui du producteur.

Par exemple, si, dans un service de navette, les autobus sont ajoutés immédiatement lorsque les queues de passagers se forment, une régression du nombre observé de déplacements sur le temps d'attente ne donnera pas une relation pure de demande parce que, avec des données agrégées, on s'attend alors à ce que des temps d'attente peu élevés soient corrélés à de fortes demandes même si les gens sont indifférents au temps d'attente. Ce fait se produit assez souvent car il existe plusieurs situations dans lesquelles les niveaux de service d'une ligne ou d'une période de la journée sont augmentés par anticipation de demandes plus élevées. Donc, si on estime seulement la fonction de demande, on s'attend à un coefficient négatif très fort pour le temps d'attente si

les gens n'aiment pas attendre; d'autre part, si on estime la demande et l'offre simultanément, ce coefficient devrait diminuer en valeur absolue et ne refléter alors que l'effet du temps d'attente sur le consommateur.

Similairement, si un grand nombre de passagers fait ralentir les véhicules, des temps de transport élevés peuvent être associés à de fortes demandes même si les passagers n'aiment pas le temps de transport. Donc, si on estime seulement la fonction de demande, on s'attend à un coefficient très faiblement négatif, voir même positif pour le temps de transport; d'autre part, si on estime la demande et l'offre simultanément, ce coefficient devrait devenir plus négatif et ne refléter alors que l'effet du temps de transport sur le consommateur.

Du côté de l'offre, on s'attend à ce que le signe des passagers dans l'équation du temps de transport devienne plus positif lors de l'estimation simultanée car on aura enlevé la composante que les gens n'aiment pas le temps de transport et on observera la congestion pure dans la fonction d'offre.

Donc, enlever le biais d'équations simultanées amené par les interactions de l'offre et de la demande peut changer les anticipations habituelles concernant les élasticités de la demande par rapport aux niveaux de service puisque ceux-ci sont des variables endogènes.

### 2.1.2 Intérêts pour les politiques de transport

Si les gouvernements et les autorités du transport en commun veulent prendre des décisions politiques rationnelles, ils ont besoin d'évidences empiriques concernant les déterminants de l'utilisation du transport en commun. Les élasticités de la demande par rapport au prix et

aux temps sont particulièrement importantes et on se doit de les estimer le plus précisément possible. Lorsque l'on tient compte des interactions de la demande avec l'offre, on améliore ces estimations.

Si l'élasticité-prix estimée est plus petite que un, on peut augmenter le revenu de la firme en augmentant le tarif. Mais si cette élasticité est forte, on devra décréter une augmentation plus grande du tarif que si l'élasticité est faible afin d'obtenir le même revenu. On voit aussitôt l'importance de connaître de façon exacte l'élasticité-prix. En effet, supposons qu'on estime une faible élasticité et que, ce faisant, on augmente le tarif de beaucoup pensant que l'on perdra peu de passagers; si, en fait, l'élasticité est plus forte, on perdra plus de passagers que prévu. Si on attribue cette perte de passagers à un déplacement de la demande plutôt qu'à un mouvement le long de la fonction de demande, on peut conclure que le nombre de passagers diminue à cause de préférences pour l'auto plutôt qu'à un facteur aisément contrôlable par des subventions.

Les élasticités par rapport aux niveaux de service, temps d'attente et temps de transport, sont aussi très utiles aux preneurs de décision. La firme s'en sert pour évaluer le nombre de passagers qu'elle peut gagner en améliorant le service. Ainsi, elle peut savoir si les revenus vont couvrir les coûts. Les organismes qui donnent des subventions, eux, sont intéressés à l'élasticité des niveaux de service offerts par rapport aux subventions et ensuite à l'élasticité de la quantité demandée par rapport au service. Ils peuvent ainsi évaluer l'impact de leurs subventions sur le nombre d'usagers du transport en commun. Ils sont aussi intéressés à l'élasticité du service offert par rapport au

tarif. Ils peuvent ainsi décider si les subventions vont aller directement à la firme ou s' ils vont subventionner le tarif chargé à l'usager, selon la variable qui a le plus d'impact sur le service offert. On voit donc que d'estimer précisément les coefficients des fonctions d'offre est aussi important pour les preneurs de décision. Les élasticités du temps de transport par rapport à la congestion sont intéressantes elles aussi car on peut voir quelle variable ralentit le plus le transport en commun et cela peut aider à l'amélioration de l'efficacité du service.

Une autre élasticité cruciale pour les décisions que doit prendre le gouvernement est celle de la quantité demandée par rapport au revenu. En effet, un des arguments pour maintenir et subventionner les opérations du transport en commun est que cela aide les groupes à faible revenu (les vieux, les jeunes, les pauvres). Or, on reconnaît généralement que l'utilisation du transport en commun se fait pour le travail. Donc l'usager type fait partie de la main-d'oeuvre et n'a pas un faible revenu. Donc, des subventions générales ne favoriseront pas une redistribution du revenu mais des tarifs spéciaux ou une amélioration des services hors-pointe peut aider ceux qui ne travaillent pas. Il est donc important de savoir si l'élasticité-revenu de la demande est positive ou négative et donc si l'utilisation du transport en commun diminue ou augmente à mesure que le revenu augmente.

Les élasticités pour les variables pertinentes à la prise de décision sont rapportées et commentées au chapitre 3 pour les différents modèles et les différentes estimations.

### 2.1.3 Intérêt pour les évaluations de projet

Lorsqu'on évalue la rentabilité des projets, il nous faut exprimer en bénéfices monétaires le temps gagné par les consommateurs. Pour ce, on attribue un prix au temps. On calcule alors le temps gagné par tous les consommateurs multiplié par le prix du temps pour obtenir les bénéfices. On comprend aisément que l'estimation du prix du temps doit être très précise, sinon on peut faire de très grosses erreurs dans l'estimation des bénéfices.

Or, pour calculer le prix du temps, on utilise les coefficients des variables de temps d'attente et de temps de transport, des variables endogènes dans notre modèle. Il est donc excessivement important de tenir compte de cette endogénéité des variables en estimant l'offre et la demande simultanément.

La formule utilisée pour le calcul des prix du temps est le rapport du coefficient du temps et du coefficient du prix de déplacement dans l'équation de demande :

$$P_{temps} = \frac{\text{coefficient } \hat{\beta} \text{ du temps}}{\text{coefficient } \hat{\beta} \text{ du prix du déplacement}}$$

En fait, c'est la valeur marginale d'une unité supplémentaire de temps. Nous calculerons de cette façon les prix du temps de transport et du temps d'attente en autobus et aussi le prix du temps de transport en auto. Ces prix du temps sont rapportés et commentés au chapitre 3 pour les différentes estimations des fonctions de demande.

## 2.2 Modèle complet d'offre et de demande de transport

Le modèle complet sera formé du modèle réduit d'offre comprenant deux équations et du modèle de demande comprenant lui aussi deux équations. Nous avons donc les quatre équations suivantes :

$$XCANFA = F_6(TW, TT, X_4') + U_6 \qquad (EQ9)$$

$$XCSCNFA = F_7(TW, TT, X_5') + U_7 \qquad (EQ10)$$

$$TW = F_5(TT, XL12C, X_2'') + U_5 \qquad (EQ7)$$

$$TT = F_4(XCANFA, XCSCNFA, X_3') + U_4 \qquad (EQ6)$$

où $XL12C = (XCANFA + XCSCNFA)_{-12}$.

C'est donc une variable endogène décalée. Les équations sont essentiellement les mêmes que celles présentées auparavant sauf qu'on a séparé les variables endogènes et endogènes décalées des autres variables explicatives de façon à mieux voir la structure de simultanéité du modèle.

L'estimation adéquate des fonctions d'offre et de demande doit rencontrer un certain nombre de conditions qu'on va examiner ci-après.

1. L'existence d'un équilibre. Il doit exister un équilibre de marché au sens faible :

quantité offerte ≥ quantité demandée.

Si on décrit cette condition en termes de nos variables, nous obtenons :

$$\text{capacité totale CAP} \geq X_a + X_e \qquad (EQ11)$$

où $X_a$ = quantité de passagers adultes en sièges-milles et

$X_e$ = quantité de passagers écoliers en sièges-milles,

la capacité étant exprimée en sièges-milles.

Si cette relation n'était pas respectée, la fonction de demande ne serait pas observée car les passagers devraient attendre plus d'un véhicule pour trouver de la place. On doit donc supposer que, globalement dans tout le système, la relation (EQ11) est respectée et fait partie, comme condition, de notre modèle complet d'offre et de demande. Il faut toutefois noter que, dans notre système, nous n'avons pas des sièges-milles comme variable observée pour la quantité demandée mais simplement le nombre de passagers. Nous ne pouvons donc pas vérifier en pratique si la relation est respectée et nous devrons supposer qu'elle l'est.

2. Identification

Il faut, en simplifiant, que les équations aient des listes différentes de variables explicatives, ou si l'on veut, que les équations soient suridentifiées. Dans notre cas, cette condition est respectée.

3. Simultanéité

On doit utiliser une méthode qui tient compte du fait que nous avons des variables endogènes explicatives dans notre modèle. Nous utiliserons trois procédures. Toutes les trois tiennent compte d'une autocorrélation sérielle et contemporaine des résidus et les procédures 3 et 4 tiennent compte en plus du fait qu'on a des variables endogènes explicatives; seule, la formule utilisée pour obtenir l'estimateur est différente. La première procédure est la "procédure 2" qui est exposée dans la section 1.1.2. La deuxième procédure est la "procédure 3" exposée à la section 1.2.2 et la troisième utilisée ici aura pour nom de référence "procédure 4" et consistera à appliquer une variante de l'estimateur CIFIDA (Converging

iterate of full information dynamic autoregressive) de Dhrymes [3] à notre système d'équations. On tient compte de l'autocorrélation contemporaine, car il y a sûrement des événements non explicités qui influencent les quantités offertes et demandées simultanément.

Chaque équation s'accompagne d'un modèle pour les résidus. Ces modèles sont les mêmes que précédemment. Il s'agit de (AUTO6) pour l'équation de XCANFA, (AUTO7) pour celle de XCSCNFA, (AUTO5) pour celle de TW et (AUTO4) pour celle de TT. Nous allons expliquer la procédure 4 et voir la différence entre les deux procédures utilisées.

Procédure 4

La procédure est exactement la même que pour la procédure 3, sauf qu'au lieu de considérer un estimateur de type variables instrumentales comme Fair, Dhrymes a utilisé un estimateur de type moindre carrés à trois étapes. On a donc cette fois-ci :

$$d = (\bar{W}'\hat{\bar{z}}^{*})^{-1}\,\bar{W}'\bar{y}^{*} \ .$$

Cet estimateur est identique à l'estimateur FIVER asymptotiquement. Nous pourrons toutefois les comparer quant à la vitesse de convergence et aux résultats numériques.

Nous allons maintenant reproduire et interpréter les résultats obtenus grâce à ces trois procédures pour notre modèle complet. Les résultats sont rapportés dans les tableaux 16 à 23 pour les coefficients estimés et les statistiques-t de student de chaque équation selon chaque procédure.

### 2.2.1 Résultats et interprétation

Il nous a fallu choisir des variables instrumentales de départ pour chaque variable explicative endogène courante ou décalée. Nous avons choisi des variables exogènes très corréliées avec les variables endogènes concernées. Ce choix est résumé dans le tableau 15.

Tableau 15

Variables instrumentales de l'étape initiale pour le modèle complet.

| Equation | Variable endogène | Variables instrum.* | Corrélation |
|---|---|---|---|
| EQ9 | TW (temps d'attente) | FIXCOST | .876 |
| EQ9 | TT (temps de transport) | SHTBH | .570 |
| EQ10 | TW (temps d'attente) | FIXCOST | .876 |
| EQ10 | TT (temps de transport | ZA | .725 |
| EQ7 | TT (temps de transport) | ZA | .725 |
| EQ7 | XL12C (passagers totaux décalés de 12 périodes) | RSCMP | .528 |
| EQ6 | XCANFA (passagers adultes) | EX7 | .525 |
| EQ6 | XCSCNFA (passagers écoliers) | RSCMP | .819 |

*les définitions de ces variables sont données en annexe.

Yvon Sabourin [11] dans un rapport de recherche remis à l'Université de Montréal, a effectué des essais pour ces deux procédures et il a conclu que l'ensemble des variables instrumentales utilisé initialement n'avait aucun effet sur les valeurs de convergence et n'affectait tout au plus que le chemin de convergence.

Tableau 16

Coefficients estimés pour l'équation de XCANFA, le nombre de passagers adultes, selon les procédures "Seemingly unrelated", FIVER de Fair, et FIDA modifié de Dhrymes dans le modèle complet d'offre et de demande.

| Variables | | Procédures "Seemingly unrelated" | Procédures FIVER de Fair | Procédures FIDA modifié de Dhrymes |
|---|---|---|---|---|
| - Variables de prix : | | | | |
| Tarif réel adulte de la CTCUM | FAD | -24096000. | -27374000. | -35922000. |
| Nombre d'autos | NC | -20.8 | -23.96 | -5.28 |
| Index des prix à la consommation | P | 1461. | 29125. | -102565. |
| Temps d'attente de la CTCUM | TW | -715267. | -123855. | 746144 |
| Temps de transport de la CTCUM | TT | -508691. | -600224. | -697577. |
| Temps du voyage en auto | T2T | 173384. | -327316. | 483960. |
| - Salaires moyens réels | RAWEM | 127032. | 143594. | 73093. |
| - Variables de température | | | | |
| Inconfort dû à la température | TLK | 465. | 881. | 1295. |
| Pluie | RFK | -225594. | -208835. | -170747. |
| Neige | SFK | 2056. | 10217. | -16068. |
| Neige cumulée | CSFMR | 3335. | 3800. | 5501. |
| - Variables d'activité : | | | | |
| Index de présence au travail | EANFP | .033 | .032 | .029 |
| Ind. de prés. au coll. & univ. | RCUTP | 1.23 | 10.1 | 17.1 |
| Index de voyages aux magasins | SHONF | 5.03 | 4.76 | 2.70 |
| Expo '67 | EX7 | 2.64 | 2.72 | 2.82 |
| Expo '68 | EX8 | 2.27 | 2.25 | 1.11 |
| Expo '69 | EX9 | 1.58 | 1.55 | .28 |
| Expo '70 | EX0 | .33 | .13 | -2.16 |
| Expo '71 | EX1 | -.011 | -.058 | -2.78 |
| Grèves à la CTCUM | STR | -732590. | -748856. | -789190. |
| Feu en 1971 dans le métro | FIR | -47470. | -39087. | -40169. |
| - Comptabilité ou agrégat : | | | | |
| Ventes anticipées | ANT | -911993. | -838013. | 148499. |
| Ventes ant. retardées de un | ANTL1 | 381842. | 590951. | 3111520. |
| Surestimation de la zone ext. | ZA | 5737910. | 6508380. | 4720660. |
| Jours de travail/mois | WD | 648141. | 575960. | 816221. |
| Samedis/mois | SAT | 435009. | 319961. | 386959. |
| Dimanches & jours de fête/m. | SHD | 349964. | 288596. | 524110. |
| - Constante | C | 10102100. | 12561200. | 16990300. |
| - Autocorrélation des résidus | $\rho_{6,1}$ | .14 | .13 | .26 |
| | $\rho_{6.12}$ | .73 | .64 | .58 |
| R-CARRE | | .974 | | |
| STATISTIQUE DE DURBIN-WATSON | | 1.655 | | |
| ECART-TYPE DE L'ERREUR | | 428789. | | |
| R-CARRE INTUITIF | | .969 | | |

## Tableau 17

Statistiques-t pour l'équation de XCANFA, le nombre de passagers adultes, selon les procédures "Seemingly unrelated", FIVER de Fair, FIDA modifié de Dhrymes dans le modèle complet d'offre et de demande.

| Variables | | Procédures "Seemingly unrelated" | FIVER de Fair | FIDA modifié de Dhrymes |
|---|---|---|---|---|
| - Variables de prix : | | | | |
| Tarif réel adulte de la CTCUM | FAD | -7.05 | -6.95 | -6.76 |
| Nombre d'autos | NC | -2.91 | -3.01 | -.49 |
| Index des prix à la consomm. | P | .04 | .58 | -1.57 |
| Temps d'attente de la CTCUM | TW | -1.88 | -.20 | 1.33 |
| Temps de transp.de la CTCUM | TT | -14.01 | -11.97 | -9.85 |
| Temps du voy. en auto | T2T | .51 | -.67 | .72 |
| - Salaires moyens réels | RAWEM | 3.56 | 3.56 | 1.39 |
| - Variables de température : | | | | |
| Inconfort dû à la températ. | TLK | .59 | 1.09 | 1.21 |
| Pluie | RFK | -3.08 | -2.38 | -1.42 |
| Neige | SFK | .14 | .59 | -.69 |
| Neige cumulée | CSFMR | 1.27 | 1.32 | 1.44 |
| - Variables d'activité : | | | | |
| Index de présence au trav. | EANFP | 5.22 | 5.50 | 5.20 |
| Ind.de prés.au coll.& univ. | RCUTP | .17 | 1.50 | 2.22 |
| Index de voy.aux magasins | SHONF | 2.96 | 2.97 | 1.55 |
| Expo '67 | EX7 | 28.60 | 24.73 | 21.52 |
| Expo '68 | EX8 | 6.08 | 5.67 | 2.13 |
| Expo '69 | EX9 | 2.73 | 2.61 | .39 |
| Expo '70 | EX0 | .44 | .17 | -2.42 |
| Expo '71 | EX1 | -.01 | -.07 | -2.77 |
| Grèves à la CTCUM | STR | -51.94 | -46.05 | -35.47 |
| Feu en 1971 dans le métro | FIR | -2.14 | -1.56 | -1.41 |
| - Comptabilité ou agrégat : | | | | |
| Ventes anticipées | ANT | -2.56 | -2.18 | .32 |
| Ventes ant.retardées de un | ANTL1 | 1.04 | 1.53 | 6.48 |
| Surestimation de la zone ext. | ZA | 2.76 | 2.63 | 1.55 |
| Jours de travail/mois | WD | 6.17 | 5.63 | 6.88 |
| Samedis/mois | SAT | 3.63 | 2.49 | 2.51 |
| Dimanches et jours de f./mois | SHD | 3.15 | 2.62 | 4.11 |
| - Constante | C | 1.79 | 2.02 | 2.20 |
| - Autocorrélation des résidus | $\rho_{6,1}$ | 2.82 | 2.39 | 4.38 |
| | $\rho_{6,12}$ | 16.36 | 12.14 | 9.46 |
| R-CARRE | | .974 | | |
| STATISTIQUE DE DURBIN-WATSON | | 1.655 | | |
| ECART-TYPE DE L'ERREUR | | 428789 | | |
| R-CARRE INTUITIF | | .969 | | |

Tableau 18

Coefficients estimés pour l'équation de XCSCNFA, le nombre de passagers écoliers, selon les procédures "Seemingly unrelated", FIVER de Fair, FIDA modifié de Dhrymes dans le modèle complet d'offre et de demande.

| Variables | | Procédures "Seemingly unrelated" | FIVER de Fair | FIDA modifié de Dhrymes |
|---|---|---|---|---|
| - Variables de prix : | | | | |
| Tarif réel de la CTCUM | FSCD | -22414000. | -27142000. | -29094000. |
| Nombre d'autos | NC | -10.97 | -13.17 | -16.66 |
| Indice des prix à la consom. | P | 8648. | 48678. | 69676. |
| Temps d'attente de la CTCUM | TW | -228067. | -61536. | -170170. |
| Temps de transp. de la CTCUM | TT | 20072. | 99115. | 78630. |
| Temps du voyage en auto | T2T | 159823. | -141871. | -207426. |
| - Salaires moyens réels | RAWEM | 25701. | 21018. | 34032. |
| - Variables de température : | | | | |
| Inconfort dû à la temp. | TLK | 883. | 501. | 501. |
| Pluie | RFK | -49840. | -72510. | -67267. |
| Neige | SFK | -18878. | -18307. | -14560. |
| Neige cumulée | CSFMR | 1560. | 2414. | 2250. |
| - Variables d'activité : | | | | |
| Index de prés. au prim.&second. | RSCMP | 3.27 | 3.12 | 3.09 |
| Index de voy.aux magasins | SHONF | 1.51 | 1.42 | 1.70 |
| Expo '67 | EX7 | .19 | .15 | .15 |
| Expo '68 | EX8 | .22 | .17 | .27 |
| Grèves à la CTCUM | STR | -118173. | -111679. | -106543. |
| - Comptabilité ou agrégat : | | | | |
| Ventes anticipées | ANT | 1220160. | 1161560. | 1053530. |
| Ventes ant.retardées de un | ANTL1 | -440112. | -400949. | -597441. |
| Surestimation de la zone ext. | ZSC | 2792080. | 3642170. | 3746580. |
| Jours de travail/mois | WD | 109167. | 108969. | 74795. |
| Samedis/mois | SAT | 47977. | 38057. | 20409. |
| Dimanches & jours de f./mois | SHD | 43797. | 34032. | -1417. |
| Tromperies des étudiants | CHEAT2 | -72555. | -21936. | -14677. |
| Expiration des cartes en été | CARDEX | -116990. | -127226. | -73708. |
| Tendance | TEND | 19666. | 14469. | 15170. |
| Structure des lignes | STRUCT1 | -53739. | 429841. | 262063. |
| - Constante | C | -2634100. | 5805000. | -6153400. |
| - Autocorrélation des résidus | $\rho_{7,1}$ | .19 | .22 | .26 |
| | $\rho_{7,1}$ | -.27 | -.28 | -.32 |
| | $\rho_{7,3}$ | -.07 | -.09 | -.04 |
| | $\rho_{7,4}$ | .43 | .41 | .37 |
| | $\rho_{7,12}$ | | | |
| R-CARRE | | .837 | | |
| STATISTIQUE DE DURBIN-WATSON | | 1.927 | | |
| ECART-TYPE DE L'ERREUR | | 225086. | | |
| R-CARRE INTUITIF | | .934 | | |

## Tableau 19

Statistiques-t pour l'équation de XCSCNFA, le nombre de passagers écoliers, selon les procédures "Seemingly unrelated", FIVER de Fair et FIDA modifié de Dhrymes dans le modèle complet d'offre et de demande.

| Variables | | Procédures "Seemingly unrelated" | FIVER de Fair | FIDA modifié de Dhrymes |
|---|---|---|---|---|
| - Variables de prix : | | | | |
| Tarif écolier réel de la CTCUM | FSCD | -3.71 | -3.89 | -4.12 |
| Nombre d'autos | NC | -2.17 | -2.45 | -3.04 |
| Indice des prix à la consom. | P | .27 | 1.35 | 1.93 |
| Temps d'attente de la CTCUM | TW | -1.00 | -.22 | -.89 |
| Temps de transport de la CTCUM | TT | .46 | 1.27 | 1.30 |
| Temps du voyage en auto | T2T | .56 | -.48 | -.74 |
| - Salaires moyens réels | RAWEM | 1.39 | 1.10 | 1.73 |
| - Variables de température : | | | | |
| Inconfort dû à la tempér. | TLK | 2.56 | 1.31 | 1.30 |
| Pluie | RFK | -1.17 | -1.60 | -1.46 |
| Neige | SFK | -2.33 | -2.01 | -1.64 |
| Neige cumulée | CSFMR | 1.19 | 1.71 | 1.59 |
| - Variables d'activité : | | | | |
| Ind. de prés. au prim.& second. | RSCMP | 7.85 | 7.48 | 7.59 |
| Index de voy. aux magasins | SHONF | 2.64 | 2.48 | 3.13 |
| Expo '67 | EX7 | 4.50 | 3.29 | 3.27 |
| Expo '68 | EX8 | 1.40 | 1.05 | 1.59 |
| Grèves à la CTCUM | STR | -13.14 | -11.84 | -11.20 |
| - Comptabilité ou agrégat : | | | | |
| Ventes anticipées | ANT | 5.67 | 5.57 | 4.86 |
| Ventes ant. retardées de un | ANTL1 | -1.83 | -1.71 | -2.67 |
| Surestimation de la zone ext. | ZSC | 4.07 | 4.52 | 4.58 |
| Jours de travail/mois | WD | 3.13 | 3.07 | 2.18 |
| Samedis/mois | SAT | 1.02 | .77 | .43 |
| Dimanches & jours de f./mois | SHD | 1.16 | .88 | -.04 |
| Tromperies des étudiants | CHEAT2 | -.49 | -.14 | -.09 |
| Expiration des cartes en été | CARDEX | -.73 | -.80 | -.47 |
| Tendance | TEND | 2.70 | 1.96 | 2.08 |
| Structure des lignes | STRUCT1 | -.20 | 1.00 | .79 |
| - Constante | C | -1.02 | -1.99 | -2.16 |
| - Autocorrélation des résidus | $\rho_{7,1}$ | 2.80 | 3.28 | 3.86 |
| | $\rho_{7,3}$ | -4.20 | -4.21 | -4.67 |
| | $\rho_{7,4}$ | -1.05 | -1.35 | -.51 |
| | $\rho_{7,12}$ | 6.86 | 6.30 | 5.75 |
| R-CARRE | | .837 | | |
| STATISTIQUE DE DURBIN-WATSON | | 1.927 | | |
| ECART-TYPE DE L'ERREUR | | 225086. | | |
| R-CARRE INTUITIF | | .934 | | |

Tableau 20

Coefficients estimés pour l'équation de TW, le temps d'attente moyen, selon les procédures "Seemingly unrelated", FIVER de Fair et FIDA modifié de Dhrymes dans le modèle complet d'offre et de demande.

| Variables | | Procédures "Seemingly unrelated | FIVER de Fair | FIDA modifié de Dhrymes |
|---|---|---|---|---|
| - La longueur des circuits | CL | .0028 | .0013 | -.0047 |
| - Le temps de transport | TT | -.087 | -.19 | -.12 |
| - Les variables de revenu : | | | | |
| Nombre de passagers décalé | XL12C | $-.39 \times 10^{-7}$ | $-.31 \times 10^{-7}$ | $-.42 \times 10^{-7}$ |
| Expo '67 | EX7 | $-.11 \times 10^{-6}$ | $-.65 \times 10^{-7}$ | $-.44 \times 10^{-6}$ |
| Expo '68 | EX8 | $-.82 \times 10^{-8}$ | $-.17 \times 10^{-6}$ | $-.32 \times 10^{-6}$ |
| Expo '69 | EX9 | $-.82 \times 10^{-7}$ | $-.82 \times 10^{-7}$ | $-.12 \times 10^{-6}$ |
| Tarif réel moyen | FT | $.21 \times 10^{-6}$ | $-.50 \times 10^{-8}$ | $.38 \times 10^{-6}$ |
| Réorganisation financière | FIREOR | -.27 | -.31 | 1.07 |
| Subsides espérés | ESUBM | .14 | .11 | .010 |
| - Les variables de coût : | | $-.11 \times 10^{-6}$ | | |
| Salaire horaire | HWRD | .40 | .26 | .19 |
| Tramways | TR1 | .11 | .20 | -.30 |
| Trolleybus | TB1 | .13 | .15 | .10 |
| Métro | STRUCT2 | -.53 | -.88 | -.45 |
| Convention collective | CLAG | .018 | .058 | .20 |
| - Variables de température : | | | | |
| Inconfort dû à la tempér. | TLK | -.000054 | -.000044 | -.000042 |
| Pluie | RFK | .034 | .020 | .038 |
| Neige | SFK | .0018 | .0027 | -.0026 |
| Neige cumulée | CSFMR | .00050 | .00059 | .0011 |
| - Variables d'agrégat : | | | | |
| Jours de travail/mois | WD | .028 | .016 | .045 |
| Samedis/mois | SAT | .087 | .073 | .097 |
| Dimanches & jours de f./mois | SHD | .045 | .038 | .069 |
| - Grèves à la CTCUM | STR | .0075 | .0058 | .0071 |
| - Feu en 1971 dans le métro | FIR | -.0063 | -.0067 | -.0094 |
| - Constante | C | 2.28 | 6.92 | 11.40 |
| - Autocorrélation des résidus | $\rho_{5,1}$ | .43 | .51 | .65 |
| | $\rho_{5,3}$ | .47 | .46 | .33 |
| R-CARRE | | .761 | | |
| STATISTIQUE DE DURBIN-WATSON | | 1.954 | | |
| ECART-TYPE DE L'ERREUR | | .0753 | | |
| R-CARRE INTUITIF | | .983 | | |

Tableau 21

Statistiques-t pour l'équation de TW, le temps d'attente moyen, selon les procédures "Seemingly unrelated", FIVER de Fair et FIDA modifié de Dhrymes, dans le modèle complet d'offre et de demande.

| Variables | | Procédures "Seemingly unrelated" | FIVER de Fair | FIDA modifié de Dhrymes |
|---|---|---|---|---|
| - La longueur des circuits | CL | 4.19 | 2.19 | -4.35 |
| - Le temps de transport | TT | -6.18 | -7.98 | -4.07 |
| - Les variables de revenu : | | | | |
| Nombre de passagers décalé | XL12C | -11.39 | -9.64 | -9.23 |
| Expo '67 | EX7 | -6.12 | -3.34 | -1.62 |
| Expo '68 | EX8 | -.14 | -3.44 | -3.71 |
| Expo '69 | EX9 | .32 | -1.43 | -1.28 |
| Tarif réel moyen | FT | -.34 | -.44 | .93 |
| Réorganisation financière | FIREOR | 2.42 | 2.23 | .13 |
| Subsides espérés | ESUBM | -.84 | -.05 | 2.21 |
| - Les variables de coût : | | | | |
| Salaire horaire | HWRD | 5.10 | 3.29 | 1.43 |
| Tramways | TR1 | .93 | .69 | -.74 |
| Trolleybus | TB1 | 1.90 | 2.05 | 1.02 |
| Métro | STRUCT2 | -5.68 | -7.04 | -2.90 |
| Convention collective | CLAG | .23 | .89 | 1.81 |
| - Variables de température : | | | | |
| Inconfort dû à la tempér. | TLK | -.71 | -.42 | -.34 |
| Pluie | RFK | 2.65 | 1.19 | 1.93 |
| Neige | SFK | .74 | .82 | -.71 |
| Neige cumulée | CSFMR | 1.65 | 1.39 | 2.24 |
| - Variables d'agrégat : | | | | |
| Jours de travail/mois | WD | 4.37 | 1.83 | 4.77 |
| Samedis/mois | SAT | 7.57 | 4.79 | 5.88 |
| Dimanches et jours de f./mois | SHD | 5.56 | 3.60 | 6.01 |
| - Grèves à la CTCUM | STR | 2.73 | 1.60 | 1.69 |
| - Feu en 1971 dans le métro | FIR | -1.82 | -2.40 | -2.25 |
| - Constante | C | 3.76 | 8.14 | 6.02 |
| - Autocorrélation des résidus | $\rho_{5,1}$ | 7.74 | 8.86 | 11.06 |
| | $\rho_{5,3}$ | 8.99 | 8.28 | 5.69 |
| R-CARRE | | .761 | | |
| STATISTIQUE DE DURBIN-WATSON | | 1.954 | | |
| ECART-TYPE DE L'ERREUR | | .0753 | | |
| R-CARRE INTUITIF | | .983 | | |

Tableau 22

Coefficients estimés pour l'équation de TT, le temps de transport moyen, selon les procédures "Seemingly unrelated, FIVER de Fair et FIDA modifié de Dhrymes, dans le modèle complet d'offre et de demande.

| Variables | | Procédure "Seemingly unrelated" | FIVER de Fair | FIDA modifié de Dhrymes |
|---|---|---|---|---|
| - Variables de congestion : | | | | |
| Quantité d'essence vendue | VNEM | $.39 \times 10^{-8}$ | $-.77 \times 10^{-8}$ | $-.43 \times 10^{-8}$ |
| Passagers adultes | XCANFA | $.35 \times 10^{-7}$ | $.13 \times 10^{-6}$ | $.51 \times 10^{-7}$ |
| Passagers écoliers | XCSCNFA | $.18 \times 10^{-6}$ | $.14 \times 10^{-6}$ | $.19 \times 10^{-6}$ |
| - Variables de température : | | | | |
| Inconfort dû à la tempér. | TLK | .00039 | .00063 | .00044 |
| Pluie | RFK | -.051 | -.0052 | -.018 |
| Neige | SFK | .027 | .017 | .016 |
| Neige cumulée | CSFMR | -.0019 | -.0024 | -.00043 |
| - Variables de répartition des heures par mode : | | | | |
| Part des heures des tramways | SHTRH | 2.07 | 9.36 | 7.05 |
| Part des heures des trolleybus | SHTBH | 5.51 | 5.95 | 3.04 |
| Part des heures du métro | SHMH | -21.88 | -23.11 | -21.54 |
| - Variables d'agrégat : | | | | |
| Jours de travail/mois | WD | -.075 | -.11 | .030 |
| Samedis/mois | SAT | .022 | -.0015 | .071 |
| Dimanches & jours de congé/mois | SHD | -.057 | -.064 | .074 |
| - Grèves à la CTCUM | STR | .040 | .096 | .044 |
| - Constante | C | 23.46 | 23.22 | 20.31 |
| - Autocorrélation des résidus | $\rho_{4,1}$ | .32 | .35 | .25 |
| | $\rho_{4,2}$ | .25 | .26 | .33 |
| | $\rho_{4,3}$ | .21 | .21 | .18 |
| | $\rho_{4,12}$ | .15 | .10 | .13 |
| R-CARRE | | .535 | | |
| STATISTIQUE DE DURBIN-WATSON | | 1.986 | | |
| ECART-TYPE DE L'ERREUR | | .466 | | |
| R-CARRE INTUITIF | | .943 | | |

Tableau 23

Statistiques-t pour l'équation de TT, le temps de transport moyen, selon les procédures "Seemingly unrelated", FIVER de Fair et FIDA modifié de Dhrymes, dans le modèle complet d'offre et de demande.

| Variables | | Procédure "Seemingly unrelated" | Procédure FIVER de Fair | FIDA modifié de Dhrymes |
|---|---|---|---|---|
| - Variables de congestion : | | | | |
| Quantité d'essence vendue | VNEM | .32 | -1.08 | -.53 |
| Passagers adultes | XCANFA | .99 | 3.75 | 1.82 |
| Passagers écoliers | XCSCNFA | 2.74 | 3.00 | 3.71 |
| - Variables de température : | | | | |
| Inconfort dû à la tempér. | TLK | .78 | 1.33 | .97 |
| Pluie | RFK | -.58 | -.06 | -.23 |
| Neige | SFK | 1.72 | 1.14 | 1.14 |
| Neige cumulée | CSFMR | -.88 | -1.22 | -.23 |
| - Variables de répartition des heures par mode : | | | | |
| Part des heures des tramways | SHTRH | .53 | 1.69 | 1.46 |
| Part des heures des trolleybus | SHTBH | 1.08 | 1.68 | .88 |
| Part des heures du métro | SHMH | -11.23 | -12.35 | -13.24 |
| - Variables d'agrégat : | | | | |
| Jours de travail/mois | WD | -1.36 | -2.19 | .56 |
| Samedis/mois | SAT | .28 | -.02 | .91 |
| Dimanches et jours de congé/mois | SHD | -1.03 | -1.29 | 1.37 |
| - Grèves à la CTCUM | STR | 1.34 | 3.33 | 1.75 |
| - Constante | C | 15.49 | 16.26 | 13.17 |
| - Autocorrélation des résidus | $\rho_{4,1}$ | 4.26 | 4.67 | 3.41 |
| | $\rho_{4,2}$ | 3.27 | 3.27 | 4.41 |
| | $\rho_{4,3}$ | 2.77 | 2.71 | 2.45 |
| | $\rho_{4,12}$ | 2.70 | 2.12 | 2.63 |
| R-CARRE | | .535 | | |
| STATISTIQUE DE DURBIN-WATSON | | 1.986 | | |
| ECART-TYPE DE L'ERREUR | | .466 | | |
| R-CARRE INTUITIF | | .943 | | |

Nous pouvons remarquer les points suivants.

En ce qui concerne l'équation des adultes :

- on note tout d'abord que les procédures 2 et 3 nous donnent à peu près les mêmes résultats statistiquement; les seules différences sont que FIR, le feu dans le métro, devient non-significatif et que C, la constante, devient significative lorsque nous faisons l'estimation avec la procédure 3. Quelques variables n'ont pas le signe attendu mais elles sont non-significatives : T2T, le temps de transport en auto, pour la procédure 3, et EX1, l'expo '71 pour les procédures 2 et 3;
- si on compare l'estimation obtenue avec la procédure 4 de Dhrymes à celle obtenue avec la procédure 3 du FIVER, on trouve que NC, le nombre d'autos, RAWEM, le revenu, RFK, la pluie, SHONF, les voyages aux magasins, EX9, l'Expo '69, ANT, les ventes anticipées et ZA, la surestimation de la zone extérieure deviennent non-significatives. Les variables suivantes n'ont pas le bon signe : P (non-significative), le prix des autres biens, TW (non-significatif), le temps d'attente, EX0 (significatif), l'Expo '70 et EX1 (significatif), l'Expo '71. Le seul avantage sur les deux autres procédures est que RCUTP, la présence scolaire, devient significative. Donc, on ne retiendra pas la procédure 4, car les résultats obtenus sont moins bons que ceux obtenus avec la procédure 3;
- pour ce qui est des coefficients critiques qui devraient varier lorsqu'on tient compte de la simultanéité, on trouve que TW, le temps d'attente diminue en terme absolu avec la procédure 3 comparé à la procédure 2; c'est ce à quoi on s'attendait. De plus, TT le temps de transport, devient aussi plus négatif, comme on avait prévu en théorie. L'expérience confirme donc

ce à quoi on s'attendait pour les interactions de l'offre avec cette fonction de demande.

Passons maintenant à l'équation de demande des passagers écoliers :

- les procédures 2 et 3 sont statistiquement très semblables : les seules différences sont que TLK, l'inconfort dû à la température, devient non-significatif et que C, la constante, devient significative lorsque nous faisons l'estimation avec la procédure 3. Quelques variables n'ont pas le bon signe mais elles sont non-significatives : TT, le temps de transport en autobus et T2T, le temps de transport en auto; ce dernier seulement pour la procédure 3;
- si on compare l'estimation obtenue avec la procédure 4 de Dhrymes à celle obtenue avec la procédure 3 du FIVER, on constate que les deux méthodes donnent des résultats assez semblables. Dans la procédure 4, SFK, la neige, devient non-significative alors que ANTL7, les ventes anticipées retardées de un, devient significative si on compare à la procédure 3. Comme pour la procédure 3, TT et T2T n'ont pas le signe espéré mais ces deux variables sont non-significatives encore ici. Donc, pour l'équation des écoliers, les procédures 3 et 4 sont aussi valables;
- pour ce qui est des coefficients critiques qui devraient varier lorsqu'on tient compte de la simultanéité, on trouve que le coefficient de TW, le temps d'attente, diminue en terme absolu lorsqu'on tient compte de la simultanéité (procédures 3 et 4) comparé avec la procédure 2; c'est ce à quoi on s'attendait. Pour ce qui est de TT, le temps de transport, ce coefficient n'a pas le signe espéré mais on s'attend tout de même à ce qu'il augmente en valeur absolue. Il augmente effectivement avec la

procédure 4 mais il diminue avec la procédure 3. L'expérience est concluante pour TW, le temps d'attente, mais elle demeure ambiguë pour TT, le temps de transport.

Regardons maintenant ce qui arrive à nos équations d'offre. Premièrement, l'équation de TW, le temps d'attente :

- les trois procédures nous donnent des résultats assez différents au point de vue de la signification ou des signes. La procédure 3 est celle qui a le plus de variables ayant le bon signe et étant significatives. En conséquence, on peut considérer qu'elle donne de meilleurs résultats;
- il est assez difficile d'interpréter à fond cette équation et de s'attendre à certains résultats plus que d'autres car c'est une forme réduite en quelque sorte.

Regardons maintenant l'équation de TT, le temps de transport :

- La procédure 2 est identique statistiquement à la procédure 4 de Dhrymes. VNEM, la quantité d'essence vendue, n'a pas le bon signe dans la procédure 4 alors qu'elle a le bon signe dans la procédure 2 mais dans les deux cas, cette variable est non-significative. Si on compare la procédure 3 à ces deux procédures, on trouve que XCANFA, les passagers adultes, WD, les jours de travail par mois et STR, les grèves, deviennent significatives. VNEM a le mauvais signe ici aussi mais cette variable n'est pas significative. Donc, la procédure 3 donne encore ici de meilleurs résultats;
- on s'attend à ce que les coefficients des passagers augmentent en tenant compte de la simultanéité et c'est exactement ce qui se produit avec la

procédure 3 de FIVER;

- les coefficients d'autocorrélation sérielle sont significatifs et on a bien fait d'en tenir compte ici encore;
- en ce qui concerne l'autocorrélation comtemporaine des erreurs, on a les corrélations suivantes d'une équation à l'autre :

Procédure 2

Eq. 1 avec Eq. 2 = -.030
Eq. 1 avec Eq. 3 = -.005
Eq. 1 avec Eq. 4 = .236
Eq. 2 avec Eq. 3 = .012
Eq. 2 avec Eq. 4 = -.116
Eq. 3 avec Eq. 4 = .227

Procédure 3

Eq. 1 avec Eq. 2 = -.229
Eq. 1 avec Eq. 3 = .244
Eq. 1 avec Eq. 4 = .389
Eq. 2 avec Eq. 3 = -.163
Eq. 2 avec Eq. 4 = -.202
Eq. 3 avec Eq. 4 = -.854

Procédure 4

Eq. 1 avec Eq. 2 = -.445
Eq. 1 avec Eq. 3 = .474
Eq. 1 avec Eq. 4 = .693
Eq. 2 avec Eq. 3 = -.286
Eq. 2 avec Eq. 4 = -.422
Eq. 3 avec Eq. 4 = .733

On voit que ces corrélations sont parfois très élevées et qu'on a incorporé de l'information en en tenant compte. En résumé :

- la procédure 3 de Fair donne de meilleurs résultats que la procédure 4 de Dhrymes pour tenir compte de la simultanéité;
- tenir compte de la simultanéité améliore les résultats surtout pour les équations d'offre en rendant les coefficients plus significatifs en général;
- les interactions entre l'offre et la demande nous avaient fait prédire certains changements de coefficients qui ont été vérifiés empiriquement.

On peut maintenant essayer de voir les différences survenues aux équations lorsqu'on groupe les modèles d'offre et de demande et lorsqu'on les prend séparément. La procédure 2 utilisée ici ne tient pas compte de la simultanéité, mais des informations sur les erreurs de l'offre et de la demande sont incorporées dans l'estimation des coefficients d'offre et de demande par la matrice d'autocorrélation contemporaine. Les équations d'offre et de demande ne sont donc pas tout à fait séparées avec la procédure 2.

Pour ce qui est des équations de demande, on va comparer les résultats obtenus avec la procédure 2 lorsqu'on tient compte de la demande seulement aux résultats obtenus quand on tient compte en plus de l'offre. Les points suivants sont à remarquer :

- le temps d'attente TW devient non-significatif dès que l'on tient compte des erreurs résiduelles de l'offre (procédure 2 pour le modèle complet) dans l'équation des adultes;
- le temps d'attente TT prend le mauvais signe dès que l'on tient compte

des erreurs résiduelles de l'offre (procédure 2 pour le modèle complet) dans l'équation des écoliers.

Pour ce qui est du modèle d'offre, on va comparer les résultats obtenus avec la procédure 3 de FIVER lorsqu'on tient compte de l'offre seulement à ceux obtenus quand on tient compte en plus de la demande. On remarque que :

- il n'y a aucune différence statistique entre les résultats obtenus avec la procédure 3 dans les deux cas considérés (offre seule et offre groupée avec demande) pour l'équation de TT, le temps de transport. Si on ne tient compte que des erreurs résiduelles de la demande, on obtient de moins bons résultats que lorsqu'on tient compte de la simultanéité intrinsèque au modèle d'offre seulement (procédure 3 appliquée à l'offre seule);
- il n'y a aucune différence statistique pour la procédure 3 dans les deux cas considérés excepté que la variable de grèves devient non-significative lorsqu'on groupe l'offre et la demande. De plus, les résultats obtenus, lorsqu'on tient compte simplement des erreurs de la demande, sont moins bons que quand on tient compte de la simultanéité intrinsèque au modèle d'offre seulement.

Donc, le fait de regrouper l'offre et la demande n'a rien amélioré au point de vue statistique pour le modèle d'offre. Pour le modèle de demande, cela a même rendu des variables importantes non-significatives ou de mauvais signe. Il est possible que, dans ce cas-là, si les équations d'offre ne sont pas parfaitement bien formulées, les erreurs des équations d'offre soient biaisées et ce biais se répercute sur les coefficients de

demande à travers l'autocorrélation contemporaine des erreurs. C'est pourquoi une méthode à information complète n'est pas toujours adéquate. C'est probablement le problème dans ce cas-ci car c'est lorsqu'on introduit les erreurs de l'offre qu'on obtient de plus mauvais coefficients et non pas lorsqu'on tient compte de la simultanéité.

Nous ne pouvons pas conclure définitivement en nous basant sur les seuls résultats statistiques, nous allons donc regarder ce qui se passe pour certaines valeurs importantes au processus de décision telles que le prix du temps, certaines élasticités, etc.

Nous allons comparer, à cette fin, les valeurs impliquées par les 3 procédures suivantes seulement, car elles s'avèrent supérieures aux autres procédures utilisées, mais aussi équivalentes entre elles. La procédure 3 de FIVER pour le modèle d'offre seul, la procédure 2 pour le modèle de demande seul et la procédure 3 de FIVER pour le modèle groupé d'offre et de demande.

## CHAPITRE 3 - ELASTICITES, PRIX DU TEMPS ET RESUME DES RESULTATS

On a vu déjà à la section 2.1.2 l'intérêt des élasticités et des prix du temps pour les politiques de transport. Nous avons reproduit dans le tableau 24, les élasticités les plus importantes pour les différentes équations.

Tableau 24

Elasticités

| Elasticité par rapport à : | | "Seemingly unrelated" demande seule | Procédure Fair de Fiver offre seule | Procédure Fair de Fiver dem.& offre |
|---|---|---|---|---|
| Equation adultes | Tarif | .18 | | .22 |
| | Temps d'att. | .16 | | .02 |
| | Temps de transport | .49 | | .63 |
| | Revenu | -.51 | | -.56 |
| Equation écoliers | Tarif | .45 | | .53 |
| | Temps d'att. | .18 | | .08 |
| | Temps de transport | .11 | | -.69 |
| | Revenu | -.65 | | -.54 |
| Equation du temps d'attente | Tarif | | .01 | .01 |
| | Passagers décalés | | .20 | .19 |
| | Subsides espérés | | -.0002 | .00007 |
| Equation du temps de transport | Passagers adultes | | -.11 | -.12 |
| | Passagers écoliers | | -.02 | -.02 |
| | Gal.d'essence vendus | | .01 | .01 |

Pour ce qui est de l'équation des adultes, lorsque l'on groupe les équations d'offre et de demande, on remarque que l'élasticité par

rapport au temps d'attente diminue et que celle par rapport au temps de transport augmente. On s'attendait à des changements dans ce sens lorsque les équations seraient groupées. L'élasticité par rapport au tarif augmente un peu mais essentiellement l'ordonnance des élasticités demeure la même : temps de transport, tarif, temps d'attente. Les écarts entre les élasticités sont plus grands lorsque les équations sont groupées. L'élasticité-revenu demeure la même essentiellement et indique que le bien n'est pas un bien inférieur.

Dans l'équation des écoliers, comme dans celle des adultes, l'élasticité-tarif augmente et l'élasticité par rapport au temps d'attente diminue lorsque l'on groupe les équations. On s'attendait à ce changement pour le temps d'attente. Le coefficient du temps de transport n'étant pas robuste, on ne peut pas tellement se fier aux élasticités obtenues à partir de ce coefficient. Donc, l'ordonnance des élasticités des variables significatives reste la même : tarif, temps d'attente; mais, cette fois-ci encore l'écart entre les deux est plus grand. L'élasticité-revenu diminue un peu mais on trouve toujours que le bien n'est pas un bien inférieur.

Les élasticités des variables dans les fonctions d'offre demeurent essentiellement les mêmes. L'élasticité par rapport aux passagers adultes dans l'équation du temps de transport augmente légèrement, ce à quoi on s'attendait et c'est de plus cette variable qui ralentit le plus les autobus. L'élasticité-tarif de l'offre étant plus forte que l'élasticité-subventions, on aurait avantage à subventionner le tarif plutôt que de donner des subventions directes pour améliorer le service. Regardons maintenant les prix implicites du temps obtenus avec les deux types d'estimation des fonctions de demande.

Tableau 25

Prix du temps

| | Prix du temps | Procédure "Seemingly unrelated", dem.seule | Procédure Fair de Fiver dem. & offre |
|---|---|---|---|
| Equation adulte | Attente | $ 2.23 | $ 0.27 |
| | Transport en autobus | $ 1.24 | $ 1.32 |
| | Transport en auto | $ -0.41 | $ 0.72 |
| Equation écoliers | Attente | $ 0.36 | $ 0.14 |
| | Transport en autobus | $ 0.04 | $ -0.22 |
| | Transport en auto | $ -0.27 | $ 0.31 |

Tout d'abord, il faut noter qu'il est normal que le prix du temps de transport en auto soit négatif car nous n'avons pas changé la convention prise pour calculer le prix du temps alors que ce coefficient agit dans le sens opposé des deux autres coefficients sur la quantité demandée.

Les prix du temps pour l'équation de demande des adultes seule sont très plausibles : le temps d'attente est évalué plus cher que le temps de transport pour l'autobus et ce dernier plus cher que le temps de transport en auto. L'ordre de grandeur des prix semble juste. Lorsqu'on groupe les équations, on obtient que le temps de transport en autobus vaut plus que le temps d'attente, ce qui est difficile à justifier. Le signe du temps de transport en auto n'étant pas bon, on ne peut se fier

au prix correspondant.

Pour l'équation de demande des écoliers seule, on a que le temps d'attente est évalué plus cher que le temps de transport en autobus, ce à quoi on s'attend. Mais dans ce cas-ci, le prix du temps de transport est plus élevé en auto que dans l'autobus. Peut-être que les écoliers ont plus de plaisir en groupe lorsqu'ils prennent l'autobus. Les prix du temps sont plus faibles que ceux des adultes, ce qui est très plausible. Lorsque l'on groupe les équations, le prix du temps d'attente diminue de beaucoup, probablement un peu trop. Les deux autres variables n'ont pas le signe attendu.

Les prix du temps sont moins plausibles lorsque l'on groupe les équations. Les élasticités sont plausibles dans les deux cas.

En résumé, on trouve que :

- il est nécessaire et cela donne de meilleurs résultats de tenir compte de la simultanéité dans le modèle d'offre seul;
- les biais de simultanéité auxquels on s'attendait du fait que l'offre et la demande interagissent entre elles étaient dans le sens prévu;
- toutefois, le bienfait de corriger le biais de simultanéité dans les équations de demande est surpassé par le mauvais effet qui provient des corrélations contemporaines des erreurs entre l'offre et la demande. En effet, la formulation des équations d'offre étant sans doute plus mauvaise que celle des équations de demande, les erreurs de l'offre sont biaisées et ce biais se répercute sur les coefficients des équations de demande lorsqu'on tient compte de la corrélation contemporaine. C'est pourquoi, au total les équations de demande sont plus mauvaises lorsqu'on tient

compte de l'offre. On pourrait remédier à cet état de chose, en utilisant une méthode pour corriger le biais d'équations simultanées à information limitée.

- les équations d'offre demeurent identiques lorsqu'on les regroupe avec les équations de demande.

# CONCLUSION

Les résultats obtenus contribuent à la connaissance du comportement économique des usagers et des producteurs du transport en commun. Le côté de l'offre de transport en commun fut développé autant que possible du point de vue formulation et estimation alors que peu de littérature existe déjà sur ce sujet comparativement à la demande.

Le système d'équations simultanées d'offre et de demande estimé par l'estimateur FIVER formulé par Fair donne des résultats intéressants du point de vue des interactions de l'offre et de la demande. Il serait peut-être préférable toutefois d'utiliser la méthode à information limitée de Fair pour ne pas estimer les équations de demande en utilisant de la mauvaise information sur les erreurs des équations d'offre.

Compte tenu du temps d'ordinateur pris pour estimer les équations simultanées et du coût qui s'ensuit, il y a lieu de faire un arbitrage entre séparer l'offre et la demande pour un coût faible et tenir compte d'un biais d'équations simultanées qui s'est avéré faible dans cette étude pour un coût environ six fois plus élevé.

## APPENDICE

### Définition des variables

ANT : Impact comptable des achats anticipés de billets étudiants en mars 1965.

ANTL1 : Achats anticipés de billets étudiants en mars 1965 décalés de une période.

AR : Nombre d'âcres de terre urbanisée dans le territoire desservi par la CTCUM.

C : Constante.

CARDEX : Variable auxiliaire tenant compte du fait que depuis l'été 1963 les cartes d'étudiants ne sont plus valides pour ceux dont l'anniversaire est durant l'été.

CHEAT2 : Tricherie des étudiants.

CL : Longueur totale des circuits opérés par la CTCUM en mettant le circuit du métro nul pour éviter un double compte.

CLAG : Variable auxiliaire qui tient compte de l'impact de la nouvelle façon de compter les heures des chauffeurs.

CSFMR : Accumulation de neige chaque saison.

CVEH : Heures de véhicules pour consommateur.

EANFP : Index d'emploi dans le territoire desservi par la CTCUM.

ESUBM : Mesure mensuelle des subventions attendues au moment du budget.

EXO : Nombre de passagers qui entrent à la station de l'Ile Ste-Hélène durant l'Expo '70.

EX1 : Nombre de passagers entrant à l'Ile Ste-Hélène durant l'Expo '71.

EX7 : Nombre de passagers entrant à l'Ile Ste-Hélène durant l'Expo '67.

EX8 : Nombre de passagers entrant à l'Ile Ste-Hélène durant l'Expo '68.

EX9 : Nombre de passagers entrant à l'Ile Ste-Hélène durant l'Expo '69.

FAD : Tarif adulte réel.

FIR : Variable auxiliaire qui tient compte du feu dans le métro en décembre 1971.

FIREOR : Variable auxiliaire qui tient compte de l'utilisation de fonds de réserve avant l'intégration du transport en commun à la MUC.

FIXCOST : Variable auxiliaire afin d'évaluer la variable des coûts fixes généraux.

FSCD : Tarif étudiant réel.

FT : Tarif des passagers (moyenne pondérée des adultes et des enfants).

HWRD : Salaire horaire des chauffeurs.

NC : Nombre d'autos dans le territoire desservi par la CTCUM.

P : Prix des autres biens dans la région métropolitaine de Montréal.

QGN : Quantité de gallons d'essence vendue à Montréal.

RAWEM : Salaire réel moyen hebdomadaire dans la région métropolitaine de Montréal.

RCUTP : Index de présence aux collèges et universités dans le territoire desservi par la CTCUM.

RFK : Fréquence de pluie.

RSCMP : Présence scolaire des enfants au primaire et au secondaire.

SAT : Nombre de samedis dans le mois.

SFK : Chute de neige par jour.

SHD : Dimanches et jours de fête par mois.

SHMH : Part des heures travaillées pour le métro .

SHONF : Index de ventes au détail dans le territoire desservi par la CTCUM.

SHTBH : Part des heures travaillées pour le trolleybus.

SHTRH : Part des heures travaillées pour le tramway.

STR : Variable auxiliaire qui tient compte des grèves des travailleurs.

STRUCT1 : Changement dans les structures des lignes résultant de l'ouverture des lignes 1 et 2.

STRUCT2 : Changement dans les structures des lignes résultant de l'ouverture des lignes 1, 2 et 4.

TB1 : Variable auxiliaire tenant compte du changement de structure des coûts variables due au trolleybus.

TEND : Tendance.

TLK : Facteur de divergence d'une température normale.

TREND : Tendance.

TR1 : Variable auxiliaire tenant compte d'un changement de la structure des coûts variables due au tramway.

| | |
|---|---|
| TT : | Temps moyen de transport en supposant un déplacement représentatif. |
| TW : | Temps d'attente moyen à un point aléatoire du circuit pour un jour moyen d'un mois donné. |
| T2T : | Temps de transport en auto pour un voyage représentatif. |
| V : | Vitesse moyenne d'un véhicule dans le circuit. |
| WD : | Nombre de jours de travail dans le mois. |
| X : | Nombre de passagers dans le réseau de la CTCUM. |
| XCANFA : | Voyages adultes par mois dans le réseau de la CTCUM. |
| XCSCNFA : | Voyages étudiants par mois dans le réseau de la CTCUM. |
| XL12C : | Nombre de passagers décalé de douze périodes. |
| ZA : | Double comptage des zones extérieures pour les adultes. |
| ZSC : | Double comptage des zones extérieures pour les étudiants. |

## BIBLIOGRAPHIE

[1] Box, G.E.P. and Jenkins, G.M., Time-Series Analysis, Forecasting and Control, Holden-Day, San Francisco, 1970.

[2] Cochrane, D. and Orcutt, G.H., "Application of Least-Squares Regression to Relationships containing Auto-Correlated Error Terms", J.A.S.A. 44, 1949, 32-61.

[3] Dhrymes, P.J. and Taylor, J.B., "On an Efficient Two-Step Estimator for Dynamic Simultaneous Equations Models with Autoregressive Errors", Int. Ec. Review, June 1976.

[4] Fair, R.C., "Efficient Estimation of Simultaneous Equations with Auto-Regressive Errors by Instrumental Variables", Rev. Econ. Statist. 54, 1972, No. 4, 444-449.

[5] Frankena, M.W., "The Demand for Urban Bus Transit in Canada", Discussion paper 015, Economics dept., U. of Western Ontario, 1976.

[6] Gaudry, M., "Six Notions of Equilibrium and their Implications for Travel Modelling Examined in an Aggregate Direct Demand Framework", ch. 6 in Hensher and Stopher, Behavioral Travel Modelling. Croom Helm, London, 1978.

[7] Gaudry, M., "Seemingly Unrelated Urban Travel Demands", Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, février 1977.

[8] Mehring, J.S., "Effects of Regulation on Aircraft Capacity Levels", Presented at the Int. Symposium on Travel Supply Models, Université de Montréal, Novembre 1977.

[9] Nelson, G., "An Econometric Model of Urban Bus Transit Operations", Ph.D. Dissertation, Rice University, 1972.

[10] Parks, R.W., "Efficient Estimation of a System of Regression Equations when Disturbances are both Serially and Contemporanously Correlated", J.A.S.A. 62, 1967, 500-509.

[11] Sabourin, Y., "Une application de l'estimateur FIVER à un problème d'offre et de demande de transport en commun à Montréal", rapport de recherche pour le grade M.Sc., Université de Montréal, août 1977.

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier :

- M. Marc Gaudry pour avoir dirigé ce rapport de recherche;
- M. Léonard Dudley pour l'avoir lu et approuvé;
- le Centre de Recherche sur les Transports qui a contribué par des subventions à la réalisation de ce rapport;
- Yvon Sabourin qui a effectué une grande partie de la programmation;
- Suzanne Larouche et Lucie Lecomte pour avoir dactylographié ce rapport de recherche.